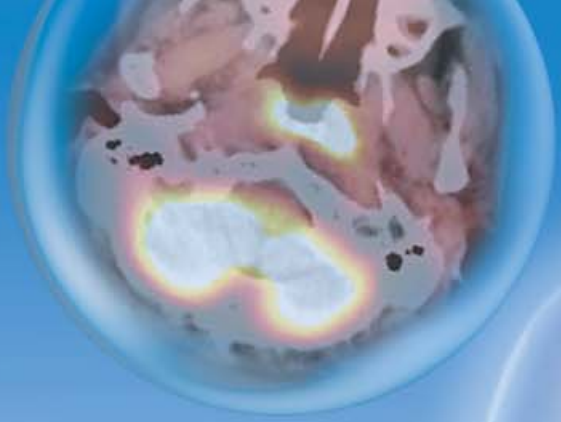
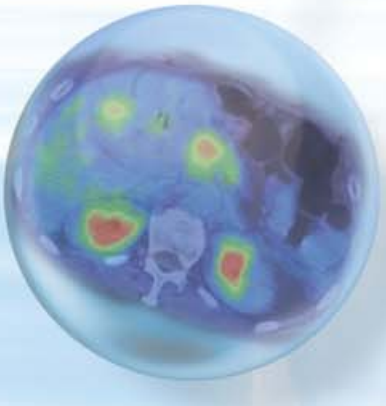
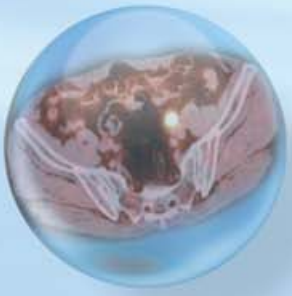
デリバリーPETの基礎と臨床







nihon medi+physics

はじめに

我が国における医薬品FDGは、FDG-PETが保険適用された2002年から3年後の2005年に製造承認されて供給が開始された。これにより、サイクロトロンを持たず医薬品FDGを使用してPET検査を行う施設、いわゆるデリバリーPET施設が急増して、2013年には170施設を超えており、国内PET市場の成長ドライバーとなっている。一方PET装置は、PET専用装置からPET/CT装置に置き換わり、また検出器の性能や画像再構成技術などが飛躍的に進歩したことから、ますます高性能のPET/CT装置が普及している。これに対して、デリバリーPET検査を支えるスタッフ、例えばPET検査を安全かつ正確に行い画質を一定に保つ診療放射線技師や、PET画像を正しく読影し適切な読影レポートを作成できる放射線科医は、残念ながら不足していると言わざるを得ない。これらスタッフの育成は、デリバリーPETの健全な発展のための重要な課題になっている。そこで、デリバリーPET施設のスタッフが手元に置いて活用できる学術資材が必要であると考えて、「デリバリーPETの基礎と臨床」の制作を企画した次第である。

本冊子は、基礎編と臨床編からなり、いずれも臨床現場の第一線でご活躍の先生方にご執筆いただいた。基礎編では、デリバリーFDGを使用する上で知っておくべき製品情報や検査スケジュール、デリバリーPETを導入する際に必要となる構造設備や安全管理、日常的に使用するPET/CT装置の品質保証と品質管理など重要事項に絞り込んで実践面から記述いただいた。臨床編では、腫瘍PET画像の読影を概説いただいた後に、各癌種におけるFDG集積、PET画像診断の精度と注意点および臨床的位置づけを記述いただいた。さらに、癌種ごとに、PETの典型画像やピットフォール画像および治療方針決定や治療効果判定に役立った症例画像を多数掲示いただいた。最後に2012年4月に保険適用された心サルコイドーシスについて、特に問題となる前処置の方法を詳述いただいた。全体を通して読みやすく平易な記載を心がけて制作・編集している。

これまでのPET検査は、核医学検査の一つとして核医学担当の医師・技師が中心に業務を担ってきたが、今後は放射線検査の一つとしてCTやMRIと同じように広く認知されて実施されることを期待したく、本冊子がその一助となれば幸いである。

2013年4月

京都府立医科大学　特任（名誉）教授　西村　恒彦

用 語

我が国で医薬品として承認されているPET製剤はFDGのみであるため、FDG-PETは「PET」、FDG-PET/CTは「PET/CT」と記述している。また、PET/CT装置で得られた画像を「PET/CT画像」と記述し、PET専用装置で得られたPET画像とCT画像の融合画像と区別している。

症例画像に関する注意

本冊子に紹介した症例画像は、臨床症例画像の一部を紹介したものであり、全ての症例が同様の結果を示すわけではない。本冊子の症例画像を紹介する場合、PETの診断精度も併せて紹介すること。

デリバリーPETの基礎と臨床

目　次

■基礎編

デリバリーFDG 4

デリバリーPET施設の構造設備 6

PET診療の安全管理と放射線防護 11

デリバリーPET検査の実際 15

PET/CT装置の品質保証と品質管理 18

■臨床編

PET画像読影のポイント 24

PETによる頭頸部癌の診断 27

PETによる悪性リンパ腫の診断 32

PETによる肺癌の診断 40

PETによる乳癌の診断 48

PETによる食道癌の診断 54

PETによる胃癌の診断 60

PETによる大腸癌の診断 69

PETによる肝臓癌の診断 73

PETによる胆嚢癌・胆管癌の診断 80

PETによる膵臓癌の診断 86

PETによる子宮癌の診断 91

PETによる卵巣癌の診断 97

PETによる尿路上皮癌・前立腺癌の診断 103

PETによる心サルコイドーシスの診断 112

基礎

デリバリーFDG

日本メジフィジックス（株）　藤原　聡之

はじめに

製薬会社から供給されるFDG（一般名：放射性医薬品基準フルデオキシグルコース（^{18}F）注射液、通称デリバリーFDG）を用いてPET検査を行っている施設は、デリバリー施設と呼ばれている。これに対して、医療機関内に設置したサイクロトロンで製造したFDGを用いてPET検査を行っている施設は、サイクロ施設と呼ばれている。

1. FDGの供給範囲

FDGは、2005年8月から供給が開始されており、2013年には国内10ヵ所の製造工場から車両で3時間以内を目安として、1日2〜3回供給されている（**図1**）。FDGの物理的半減期が約110分と極めて短いために、製造工場から車両で3時間以上かかる施設への供給は難しくなる。

2. FDGの剤形・容器

FDGは、検定日時において2mLあたりフッ素18として185MBqを含む注射液であり、ガラス製バイアルに封入されて、室温で保存されている。このガラス製バイアルは、放射線防護のために、側面の厚さが約20mmで重さが約2.7kgの鉛容器で遮へいされている（**図2**）。

3. FDGの用法・用量と有効期間

通常、成人には本剤1バイアルを静脈内に投与し撮像する。投与量は、年齢、体重により適宜増減するが、最小74MBq、最大370MBqまでとする。検定日時から2.4時間経過すると最小投与量である74MBqまで減衰するため、FDGの有効期間は、検定日時から2.4時間に設定されている。

4. FDGの有効成分

FDGとは、fluorodeoxyglucose（フルオロデオキシグルコース）の略称である。**図3**に示すように、FDGは、グルコースの2位の水酸基が放射性核種であるフッ素18に置き換わった構造であり、グルコースとほぼ同じ構造である。そのため、生体内にFDGを投与すると、グルコースと同じように生体内に取り込まれ代謝される。よって、FDGはグルコース代謝をみる放射性薬剤として用いられている。

図1　FDGの製造工場と供給範囲の目安

図2　FDGの剤形・容器

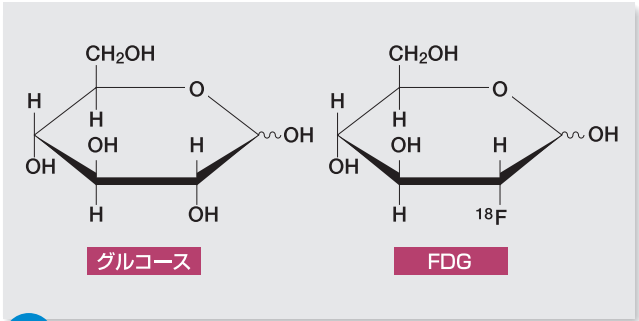


図3　グルコースとFDGの構造式

5. FDGの薬理作用

FDGの腫瘍集積機序として、生体内にFDGを投与すると、細胞膜にあるグルコーストランスポーターを介して細胞内に取り込まれる。細胞内に取り込まれたFDGは、ヘキソキナーゼにより速やかにリン酸化されてFDG-6-リン酸になる。FDG-6-リン酸は、それ以上の代謝をほとんど受けないこと、リン酸化体であるため細胞外に出られないことから、FDG-6-リン酸として細胞内に留まる（metabolic trappingと呼ばれる、**図4**）。よって、細胞のFDG集積はグルコース代謝（活動性）の多寡を反映すると考えられている。多くの腫瘍細胞は、正常細胞より活動性が高いため、FDGが高集積する。

腫瘍へのFDG集積の経時変化として、血液中のFDGは、徐々に腫瘍細胞に取り込まれる**（図5）**ため、FDG投与後40～60分経過すると腫瘍/血液（筋肉）比が高くなる。FDG投与からの時間が長いほど腫瘍/血液（筋肉）比は高くなるが、腫瘍内の放射能量は減衰して少なくなることおよび患者の待機時間は長くなることから、通常は40～60分後から撮像を開始することが多い。

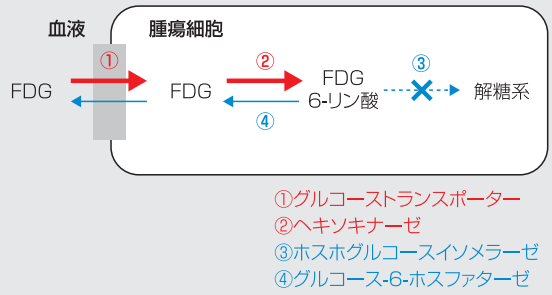


図4 FDGの腫瘍集積機序

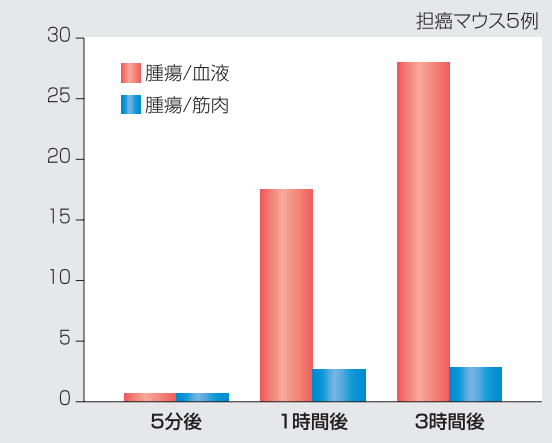


図5 腫瘍へのFDG集積の経時変化

6. FDGの体内動態

血液中のFDGは、ほとんど代謝されずにFDGのまま存在する。脳はグルコースを唯一のエネルギー源としているため、血液中のFDGは、主に脳へ分布する。一方、心臓は、脂肪酸や乳酸など様々なエネルギー源を利用できるため、心臓への分布は患者により様々である。FDGはグルコースに比べて尿細管再吸収を受けにくいため、主に腎臓から排泄される。以上のことから、FDGを血液中に投与して40～60分経過すると、脳と膀胱に強い集積がみられる**（図6）**。これらの集積は、病的集積でないため生理的集積と呼ばれている。なお、扁桃腺、唾液腺、胃、腸管など様々な臓器に生理的集積がみられることがあるため、診断に注意が必要である[1)]。

7. FDGの使用上の注意

胎児や乳児の被ばくを避けるために、妊婦や授乳婦には原則として使用すべきでない。これと関連して、FDG投与後12時間は、乳幼児との密接な接触（だっこなど）は避けるべきである。糖尿病の患者では、血糖がコントロールされていれば使用してよい。ただし、FDG投与前にインスリンを投与してはならない。血液中のインスリン濃度が高くなると、筋肉や軟部組織にFDGが高集積してバックグラウンドが高くなるためである。

患者は、FDG投与前4時間以上絶食し、PET検査終了まで安静にしなければならない。FDGは、疲労した筋肉や動きのある筋肉によく集積するため、FDG投与前は運動を避け、FDG投与後は会話、読書、テレビ視聴も避けて、リラックスさせるべきである。FDGは膀胱に排泄されるため、PET撮像前にできるだけ排尿させるべきである。排尿により、膀胱周辺の異常集積が指摘しやすくなる。利尿を促すためにFDG投与前後に患者にミネラルウォーターを飲ませる方法もよく行われている。

PET検査では絶食が長時間になる場合があるため、患者が低血糖発作を起こす可能性がある。低血糖発作時に備えて、砂糖や糖分含有飲料などを速やかに摂取できる体制が望ましい。

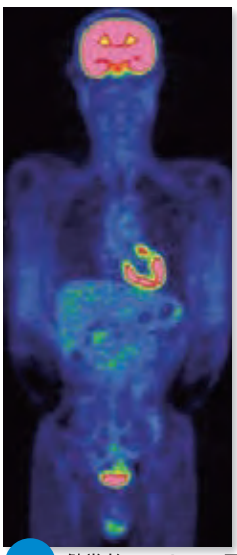


図6 健常者のFDG-PET画像

引用文献
1）御前隆, 他. Gamut of FDG-PET. 核医学2012; 49: 357-389.

デリバリーPET施設の構造設備

独立行政法人国立病院機構東京医療センター 放射線科　田村 正樹

はじめに

本邦ではFDG-PET検査が2002年4月から保険適用され、2005年8月からFDGがデリバリーされたことから、デリバリーPET施設数は増加の一途をたどり、2013年にはPET保有施設数の過半数を占めるに至っている。

FDGがデリバリーされる以前は、PET施設を開設するためには、サイクロトロン（粒子加速器）設置をはじめとする初期投資額が数億円～数10億円にも達するため、医療法人と民間会社が共同でPETセンターを運営する形態もみられた。その後、デリバリーFDGを利用することにより、初期投資額が圧縮されたため、がん診療を担う病院にとってはPET導入のハードルが下がったと思われる。とはいえ、PET検査を始めるにあたっては、デリバリーFDGを用いても医療法に定められた構造設備を満たすためのスペースはもとより、採算を合わせるための初期投資、運転費及び検査需要を見積もる必要がある**（図1）**。

本章では、デリバリーPET施設の構造設備にかかる部分に焦点をあてて、例としてPET/CT装置を1台新規導入する場合について概説する。

1. 許可申請等

デリバリーPET施設は、FDGの他、PET/CT装置、さらにPET/CT装置の校正を行うための密封された放射性同位元素（以下、RI）を使用する※ため、文部科学省の『放射線障害防止法』と厚生労働省の『医療法』の二重規制を受ける。その他、医療従事者にかかる法律として労働安全衛生法（電離放射線障害防止規則）の関係届出が必要である。また、市町村によっては、RIを貯蔵し、又は取り扱おうとするときには消防署への届出も必要な場合があるので、その旨の確認が必要である**（図2）**。

放射線治療装置（リニアック）などで既に文部科学省からの許可を得ている医療機関においては、密封RIについて使用許可の変更申請を行うため、許可までの期間が別途必要になる。許可までの期間は、文部科学省で使用許可申請書が受理されてから許可証が発行されるまで約3～4か月、事前審査も含めると6か月程度を想定しておくとよい。

なお、PET/CT装置を増設する際、申請内容にもよるが、将来の増設を見越して申請しており、その内容と相違無ければ、改めての申請は必要ない。但し、設置後10日以内に「エックス線装置設置届」を最寄りの保健所に届け出なければならず、届出と併せてエックス線診療室の漏洩放射線に関する測定結果の提出が要求される**（図3）**。なお、国立系医療機関と国立系医療機関以外では、医療法・放射線障害防止法の手続きの方法が異なる点に注意が必要である**（図4）**。

※使用する密封線源が表示付認証機器の場合には、予め使用許可・使用届等の必要がなく、事後に簡単な届出をすることで使用が可能である。

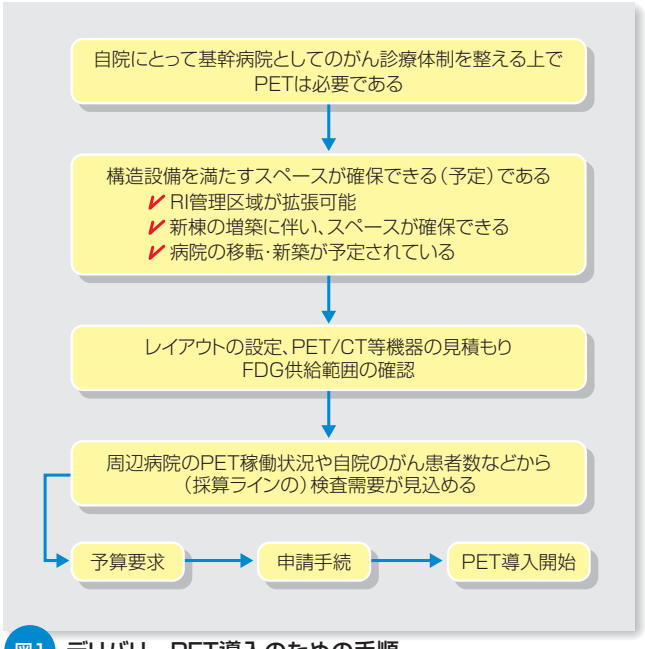


図1 デリバリーPET導入のための手順

1. 放射線障害防止法	文部科学省*
2. 医療法	厚生労働省
3. 電離放射線障害防止規則	厚生労働省
4. 消防法	総務省

＊2013年4月1日より原子力規制委員会

図2 デリバリーPET施設に係る法律及び管轄

1. 設計図面案の相談と作成
2. PET/CT装置の決定
3. 開設許可申請または開設許可事項変更許可申請
4. 工事開始
5. 放射線障害防止法の届出または許可申請（変更許可申請）
6. FDG納入時間の調整
7. 密封線源発注
8. 陽電子断層撮影診療用放射性同位元素備付届などの届出
9. 特掲診療科の施設基準などの届出

図3 デリバリーPET導入決定後の工程概要

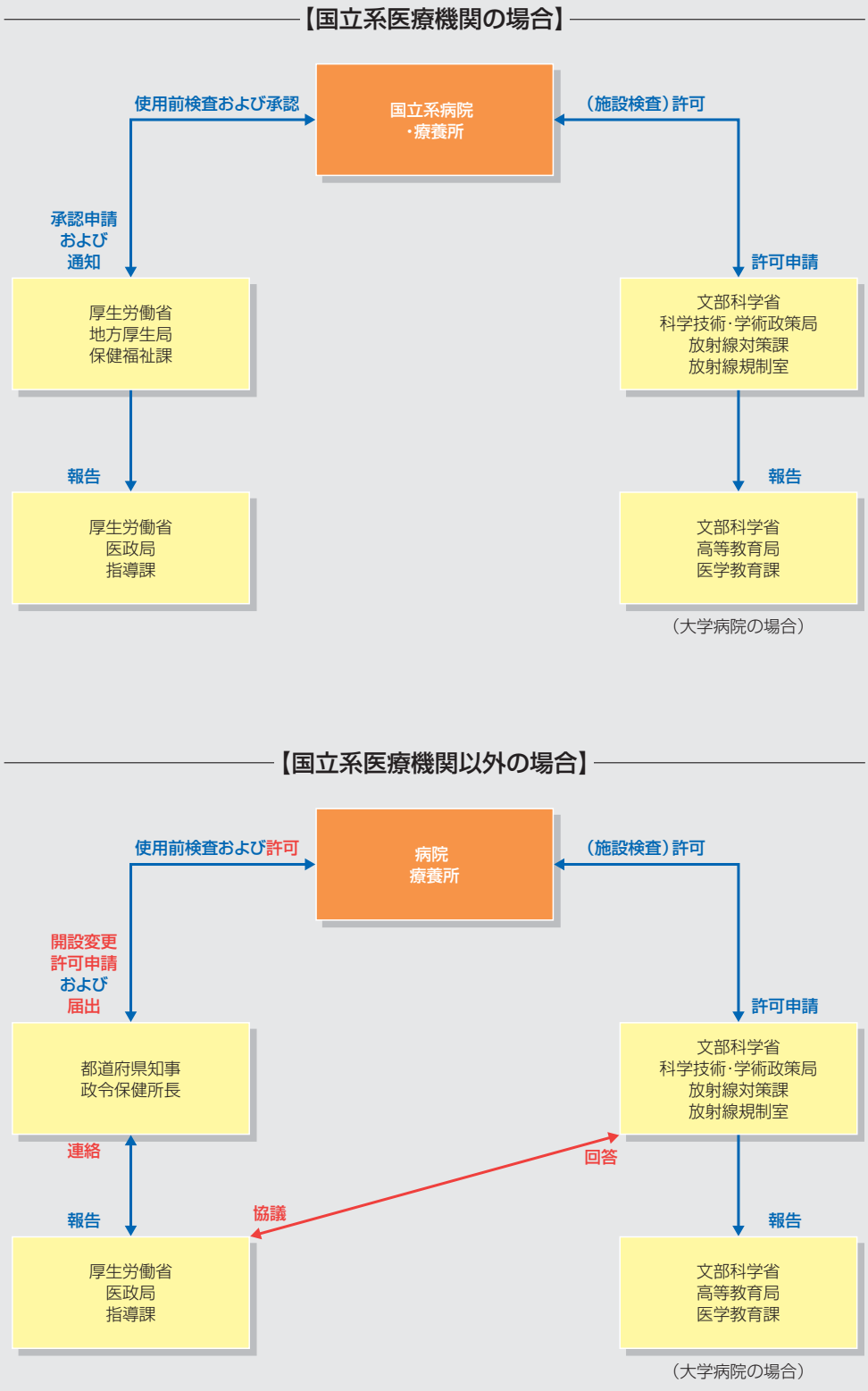


図4 医療法上の手続きと放射線障害防止法上の手続きの関係(概略)

2. 構造設備（図5）

1）管理区域

PET検査を実施する核医学部門では、放射線防護に必要な構造設備の基準として次に掲げる部屋を設けることが定められている。また、各部屋には許可申請書又は届出に記載した室名とともに、法令で定められた標識を掲げる必要がある。PET-CT室においては、自動表示灯の設置が義務付けられている。

（1）陽電子準備室：FDGを分注するための部屋。また、洗浄設備を設けること。

（2）陽電子診療室：FDGを患者に投与するための部屋（処置室）及びPET/CT装置を設置し、撮像を行う部屋。なお、1つの陽電子診療室に複数のPET/CT装置を設置することは認められていない。

（3）陽電子待機室：FDGを投与された患者が、PET検査を受けるまで安静を保つための部屋。

（4）操作室：コンソールを操作する部屋。FDGを使用する室内にはPET/CT装置を操作する場所を設けないと定められているため、PET/CT装置の設置場所と画壁等により区画されている必要がある。なお、操作者は被ばく管理されている放射線診療従事者でなくてはならない。

標識及び注意事項の掲示：上記の（1）～（3）の部屋には、それぞれの部屋である旨を示す標識を掲げる。また、管理区域の目につきやすい場所に診療従事者、患者及び介護者に対する放射線防護に必要な注意事項を掲げる。

FDGは、消滅光子のエネルギーが従来の放射性医薬品と比べて高いことから、実効線量限度等を満たすためには、核医学施設の遮へい壁が厚くなる。従って、PET/CT装置やワークステーション、診療従事者の被ばく軽減のための遮蔽板などの重量も加味し、建屋や地盤の強度・補強の可否について施設設計時や改修時に十分検討する必要がある。

管理区域内の内装について、法令では、使用施設のうち非密封RIの使用室の内部の壁、床その他RIによって汚染されるおそれのある部分は「突起物、くぼみ及び仕上材の目地等のすきまの少ない構造」とし、それらの表面は「平滑であり、気体又は液体が浸透しにくく、かつ、腐食しにくい材料で仕上げる」と定められており、これらの条件に適合するものであればよく、材料、施工方法は特に限定されていない。天井の岩綿吸音板は非密封RIの使用室には使用できず、非密封RIの貯蔵室、保管廃棄設備も使用室に準じた仕様が望ましいと考えられる。PET/CT装置本体と画像処理装置とを繋ぐ配線用のピット等でも汚染に対する配慮が必要であり設計の段階から確認が必要である。

動線については、放射線診療従事者（放射線業務従事者）

構造設備	室名	用途	備考（備品等）
使用室	汚染検査室	RIの汚染検査ならびに除去	・RI使用室出入口付近に設置 ・汚染検査測定器、洗浄設備（排水設備に連結）、除染機材
	陽電子準備室	FDGを分注するための部屋	・洗浄設備（排水設備に連結） ・安全キャビネット等（排気設備に連結）
	（陽電子診療室） 処置室	FDGを患者に投与する部屋	・（自動）投与装置
	（陽電子診療室） PET-CT室	PET/CT装置を設置し、撮影を行う部屋	・1つの部屋に複数のPET/CT装置を設置することは認められない ・PET/CT装置を設置する部屋と操作する部屋は、画壁等で区画された部屋とする
	陽電子待機室	FDGを投与された患者が、FDG-PET検査を受けるまで安静を保つための部屋	・リクライニングチェアー
	操作室	コンソールを操作する部屋	
貯蔵室	貯蔵室又は貯蔵箱	RIを貯蔵する部屋又は箱	・外部と区画された構造 ・開口部は特定設備に該当する防火扉を用いた構造
廃棄設備	排水設備	液体状の医療用放射性汚染物を排水または浄化する設備	・排水管、廃液処理槽
	排気設備	気体状の医療用放射性汚染物を排気または浄化する設備	・排風機、排気浄化装置、排気管、排気口
	保管廃棄設備	固体状の医療用放射性汚染物を保管廃棄する設備	1日最大使用数量が5TBq（F-18）以下の場合は、それ以外のものが混入、付着しないよう封および表示をし、封をした日から起算して7日間を超えて管理区域内におくこと

図5 デリバリーPET施設の構造設備の概要

の放射線被ばくを可能な限り少なくするため、診療従事者と患者の動線はできるだけ分けることが望ましく、また患者間の相互被ばくの観点からも、PETエリアとSPECTエリアが同じ管理区域にある場合でも、それぞれの患者の動線は分けるレイアウトが望まれる。

その他、従来の診療用放射性同位元素の管理区域内の構造設備と同様に、次の設備が必要となる。

(5) 貯蔵室：FDGを貯蔵するための室。主要構造部を耐火構造とする。耐火性貯蔵箱で代替えできる。
(6) 廃棄物保管室。廃棄物保管庫で代替えできる。
(7) 便所。
(8) シャワー室、汚染検査室。
(9) 排気設備。
(10) 排水設備。

PET/CT装置1台とSPECT装置1台のレイアウト案を**図6**に示した。

排気・排水設備に関しては、放射線モニタと合わせて「3. 排気・排水設備、モニタリング」の項を参照のこと。

2) 廃棄設備

既設のRI施設を改修する場合、既設の廃棄施設の能力の範囲内であれば共用可能である。但し、陽電子断層撮影診療用放射性同位元素又は陽電子断層撮影診療用放射性同位元素によって汚染された物（以下、「陽電子断層撮影診療用放射性同位元素等」という）についてのみ許される「保管廃棄設備に関する技術的基準を課さない」の摘要は困難になると思われる。因みに、摘要にあたっては申請又は届出の際にその旨を併せて申請又は届け出る必要があり、また、陽電子断層撮影診療用放射性同位元素等のみを保管・管理し、更に診療用放射性同位元素等の混入を防止し、又は付着しないよう封及び表示する等の措置が必要となる。

貯蔵に関しても、非密封RI、密封RIはそれぞれに貯蔵箱等の用意が必要である。

3) 線量限度等の基準

医療法施行規則に以下に掲げる線量基準が規定されており、陽電子断層撮影診療用放射性同位元素等による外部被ばくの線量評価を行い、基準値を超えないための放射線防護対策が必要である。

(1) 施設内の人が常時立ち入る場所の基準：実効線量限度1mSv/週
(2) 管理区域境界における基準：実効線量限度1.3mSv/3月
(3) 病院又は診療所内の病室に入院している患者の被ばく（診療による被ばくを除く）：実効線量限度1.3mSv/3月

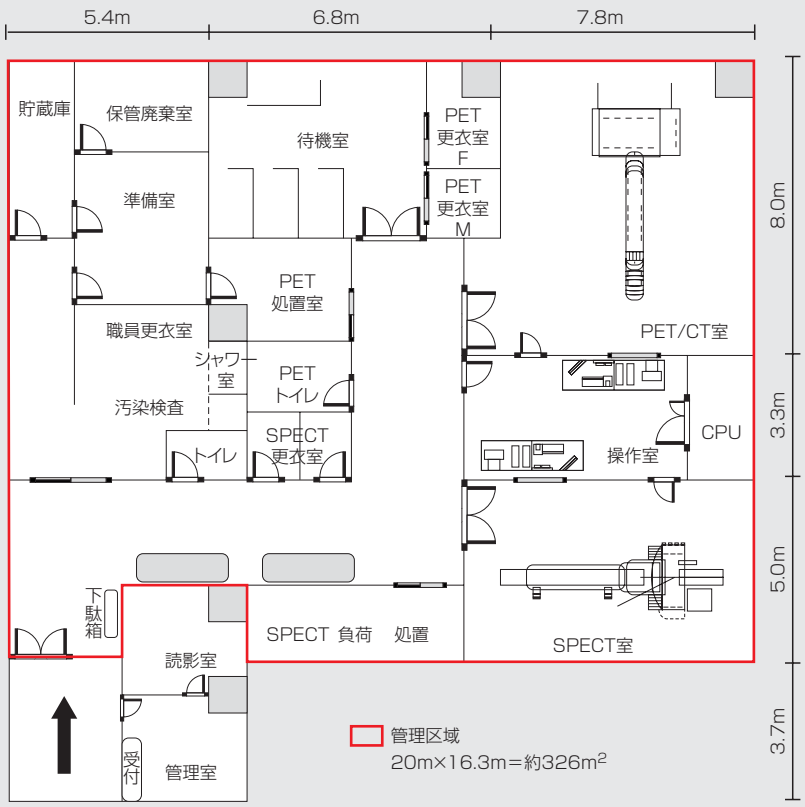


図6 PET/CT1台+SPECT1台のレイアウト案

(4) 病院等の敷地境界等における基準：実効線量限度250μSv/3月
(5) 病院内の人が居住する区域の境界における基準：実効線量限度250μSv/3月

PET/CT室は、非密封RI、密封RIを使用するので放射線障害防止法における放射性同位元素使用室、医療法における陽電子診療室、エックス線診療室に該当する。エックス線診療室は通常は診療室の境界（隔壁）と管理区域の境界を兼用するが、PET検査施設では非密封RI、密封RIに係わる管理区域内にエックス線診療室が包含されるので、管理区域の境界は非密封RI、密封RIの管理区域の境界となる。

4）着工時期

国立系医療機関で着工する場合の手続きを以下に示す。
国立系医療機関以外で着工する場合の手続きは**図4**を参照に読み替えること。

a. 新設

許可が下りる前に着工は可能だが、できるだけ早いうちに申請書や備付届を作成し、文部科学省と厚生労働省地方厚生局医療課のヒアリングを受けることが奨められる。

b. 増設（既存施設との建築上、設備上の接点が無い場合）

同一事業所内に既存の放射性同位元素使用施設とは別に新たに施設を増設する場合は許可が下りる前に着工は可能であるが、できるだけ早いうちに申請書を作成し、文部科学省のヒアリングを受けることが奨められる。また、既存施設が変更許可申請を行っている場合、その許可が下りなければ次の変更許可申請は行えないので、双方のスケジュールを調整することに注意が必要である。

c. 改修（増設を含む）

既存の放射性同位元素使用施設を改修又は増設してPET施設を設ける場合は、放射線障害防止法においては許可使用に係わる変更許可を申請し、許可が下りてからでないと着工はできない。医療法も承認事項を変更しようとする場合は予め承認申請が必要であり、厚生労働省地方厚生局医療課のヒアリングを受けることが奨められる。

3. 排気・排水設備、モニタリング

PET施設には専用の空調設備、排気設備、排水設備、放射線管理設備などが必要である。

1）空調設備

空気中放射能濃度を下げるために各部屋は排気されており、エアーバランスを保つ観点から給気設備は必要である。さらに、患者は検査衣など薄着であるため及び機器の保護や発熱負荷を取るためにも空調設備は必要である。
空調設備は、RI管理区域内の温湿度を最適に維持するための空気を供給する専用設備で、PET室などに空調設備の補助としてエアコンを設置する場合には、空調機の室外機は管理区域内に設置する必要はないが、ドレン排水はRI排水系統に接続しておくことが必要である。

2）排気設備

排気設備は、RI管理区域内の空気をダクトで集合させ、排気浄化装置（プレ、HEPAフィルター）で浄化して大気へ放出する専用設備であり、RI管理区域内が負圧になるように制御されている必要がある。

3）排水設備

RI管理区域内から出るトイレの汚水、手洗いや器具洗浄などの雑排水を排水管で集合させ、RI排水設備（浄化槽、分配槽、貯留槽、希釈槽）で減衰、希釈して下水へ放流する専用設備が必要である。RI排水設備は6面点検ができるタンク式が必要である。

4）モニタリング

PET施設で取り扱う非密封RIは、放射線のエネルギーが高く、かつ取扱量も多い。そのため、不要な被ばくを避け、放射線診療従事者（放射線業務従事者）が受ける外部被ばく線量をできるだけ抑える必要がある。ポケット線量計による放射線量率の監視が望ましい。PET施設から排気・排水される陽電子断層撮影診療用放射性同位元素濃度や非密封RIによる汚染の状況のモニタリングについて以下に示す。

＊放射線管理モニタ
- RI管理区域内の空気中濃度と排気中濃度を監視するガスモニタ
- RI排水設備の排水中濃度を監視する排水モニタ
- RI管理区域から退出する際に汚染がないことを確認するハンドフットクロスモニタ
- RI管理区域内で作業する人の被ばくを監視するエリアモニタ

＊上記以外に管理区域内での運用に便利なモニタ
- RI管理区域に立ち入る人を規制・管理するための入退室システム

4. その他

- 診療用放射性同位元素の使用・保管・廃棄を管理するRI在庫管理システム
- 通信・連絡設備（ナースコールを含む）
- 医療ガス設備

PET診療の安全管理と放射線防護

独立行政法人国立病院機構名古屋医療センター 放射線科 津牧 克己

はじめに

PET診療に最も関係する法律は、医療法であり、PET検査の普及により、安全性と適切な実施を確保するため2004年に医療法施行規則が改正され、関連通知において施設の構造設備というハード面と医療放射線の安全管理というソフト面の組織的な対応が定められた。PET検査施設における放射線安全確保に関して、2005年に「FDG-PET検査における安全確保に関するガイドライン」が出され、PET検査を安全に施行し、かつ放射線被ばくを合理的に管理し、PET検査に係るすべての人に対する医療安全を確保することを目的に、10項目の指針が提示された。また、良質な医療を提供する体制の確立を図るため、医療法が2006年に改正され、指針の策定、従事者に対する研修の実施、その他安全を確保するための措置を講じなければならないと定められた。

1. PET診療の安全管理体制の構築

1. 1 PET診療の安全管理組織例（図）

1. 2 PET診療に係る組織構成員の役割

（1）PET診療安全管理責任者

・PET診療放射線安全管理委員会への参画、報告および開催要求
・PET診療の放射線安全管理に係る記帳、記録内容の確認および保管、管理
・PET診療放射線安全管理規定等の周知の確認
・従事者の教育、研修計画の策定
・PET診療に係る事故等の報告書作成および再発防止への対応
・PET診療の放射線安全管理上、特に必要とされる事項について管理者への意見具申

（2）PET診療安全管理担当者

・PET診療放射線安全管理委員会への参画および報告
・PET診療の放射線安全管理に係る記帳、記録の作成
・PET診療放射線安全管理規定等の周知
・従事者の教育、研修計画の実施
・PET装置の品質保証および品質管理
・PET診療の放射線安全管理上、特に必要とされる事項について管理者への意見具申

（3）実務担当者

1）密封線源（診療用放射線照射器具又は装置）について
・密封線源の取扱業務および記録
・密封線源の漏洩線量の測定

2）非密封線源（陽電子断層撮影診療用放射性同位元素等）について
・PET核種の取扱業務
・使用、保管、運搬、廃棄に関する記録等
・汚染の測定

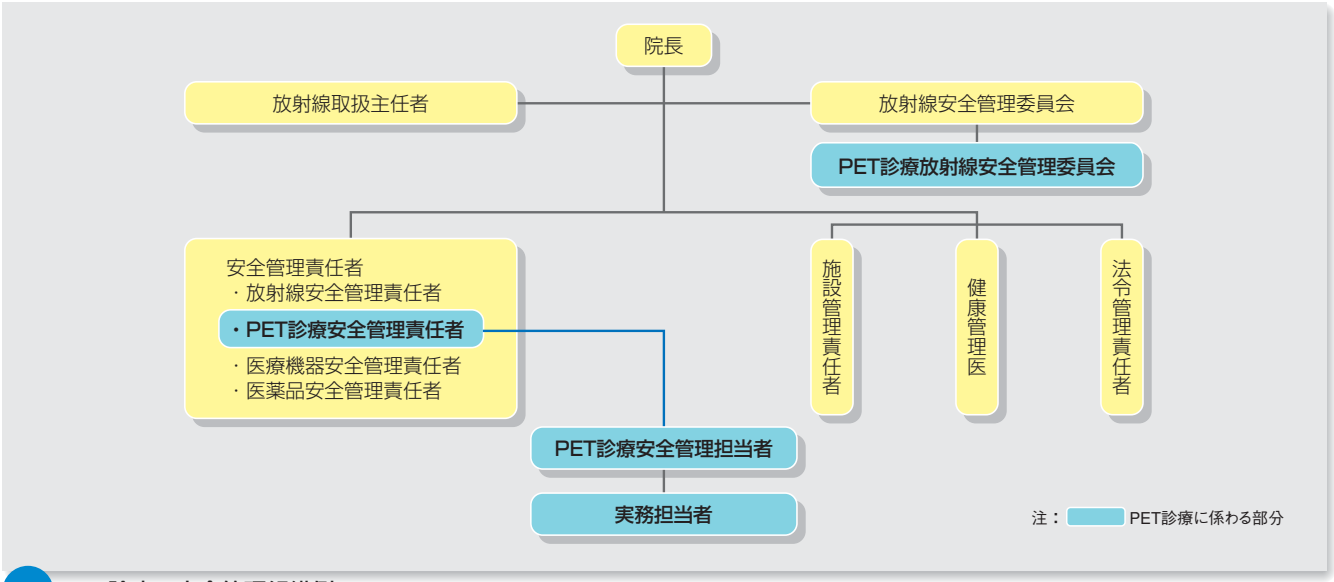


図 PET診療の安全管理組織例

PET診療の安全管理体制は、医療機関の規模、組織形態、診療形態等によって異なる。リニアックや密封放射性同位元素を用いて治療を実施している施設では、放射線障害防止法に基づく「放射線障害予防規程」において、放射線安全管理委員会を設置している。このような場合、当該医療機関全体の放射線安全管理体制の一部に組み込まれる形態の方が、放射線の安全管理や医療安全確保が徹底できる。

1.3　PET診療放射線安全管理規定

PET診療に係る医療放射線の安全確保と医療安全を達成するための組織に関する規定を定める。

(1)PET診療放射線安全管理規定の主な項目

- 目的
- 適用範囲
- 遵守等の義務
- 組織(1.1参照)
- PET診療放射線安全管理委員会の設置と審議事項
- PET診療安全管理責任者およびPET診療安全管理担当者の選任と職務(1.2参照)
- 手順書の作成
- 教育および研修

(2)PET診療放射線安全管理委員会の審議事項

- PET診療放射線安全管理規定の改訂に関すること
- PET診療に伴う放射線診療従事者の被ばく線量を抑制するための手順書の作成および改訂に関すること
- 放射線診療従事者への放射線防護に必要な教育に関すること
- 介護者等の放射線防護に必要な指示、指導に関すること
- 放射線診療従事者の放射線被ばくの測定と健康診断結果の評価に関すること
- PET診療に係る医薬品FDGならびにPET装置の品質保証および品質管理に関すること
- PET診療に係る医療事故又は過誤等に関する分析評価、再発防止への対応に関すること
- 内部監査結果に関すること
- その他のPET診療に関する放射線防護に必要な事項に関すること

1.4　PET診療に関する手順書

PET検査における放射線診療従事者の役割と責任、プロトコール、FDGの品質管理、患者への投与量の確認、PET検査装置の品質保証と品質管理、患者の確認、画像解析とデータ表示を含む臨床手順、患者等への注意・指導事項等、その他放射線安全に関する手順書を作成する。

1.5　放射線診療従事者の教育及び研修

手順書の周知と徹底、FDG等の安全取扱い、放射能汚染の防止と汚染拡大防止の対処法、標準的な患者の吸収線量・実効線量の把握、放射線診療従事者の放射線防護、介助者・一般公衆に対する放射線被ばく線量の軽減化について教育、研修を行う。

1.6　放射性廃棄物管理

医薬品FDGの固体廃棄物は、封をしてから7日間管理区域に保管した後、非放射性廃棄物として廃棄できる。実施する場合は、その届出が必要となる。

1.7　PET診療の実施に係る医療法に関する届出事項

医療法施行規則第28条第1項各号に掲げる事項を所在地の都道府県知事に届出をする。FDGに関して届出の際に留意する点は、

①PET診療に関する所定の研修*を修了し、専門の知識及び経験を有する診療放射線技師を専ら従事させること。

②放射線防護を含めた安全管理体制の確立を目的とした委員会等を設けることを明記した書類を提出すること。

また、PET診療に従事する医師または歯科医師のうち1名は、

Ⅰ 常勤職員であること

Ⅱ PET診療に関する安全管理の責任者であること

Ⅲ 核医学診断の経験を3年以上有していること

Ⅳ PET診療全般に関する所定の研修*を修了していること

Ⅰ～Ⅳを証明する書類を添付すること。

*現在、日本核医学会春季大会がPET研修セミナーを開催している。

2. PET診療に関する安全管理の実際

2.1　外部被ばくの低減、汚染の拡大防止

被ばくの低減は、物理的対応と時間的対応で実現できることが多い。外部被ばくを減らす3原則の「時間」「距離」「遮へい」を念頭に置いた遮へい具の利用、距離を確保した核種の取扱い、手技の簡略化による短時間の実施などが有用である。各室などでの注意事項を挙げる。

(1)被検者への説明

従事者と被検者の接触をなるべく減らすため、PET検査前に、検査内容、検査手順、PET検査室の配置、特にトイレの位置、待機室からの移動方法など、あらかじめパンフレットなどをみせながら患者に丁寧に説明する。丁寧な説明は、被検者を安心させる役割も果たす。PET検査の流れのビデオなどを被検者に見せることも、被検者の理解に大いに役立つ。

(2)陽電子準備室

医薬品FDGの注射液は、シリンジに分注するまで貯蔵箱(貯蔵室)に入れておくことで、従事者の被ばくを低減できる。

(3)陽電子処置室

FDG注射液からの被ばく、被検者からの被ばく、近くに存在する放射性廃棄物からの被ばくが考えられる。従事者にはある程度の熟練を要する。自動注入器を利用する場合、被検者の近くで手間取ると被ばくの低減効果が薄れる。自動注入器を利用しない場合、確実か

つ短時間にFDGを投与するためあらかじめ静脈ルートを確保し、タングステンシールド付シリンジをセットし、放射線防護衝立を使用し静注する。コールドランでの訓練も有用である。

(4)陽電子待機室

被検者が、FDGが体内に分布する間、安静に過ごす部屋であり、線量が相当高くなる。基本的に従事者が出入りすることはない。

(5)PET検査室

モニタ映像による監視システムの導入は、従事者の被ばく低減に役立つ。遠隔操作と音声誘導による被検者とのコミュニケーションは、被ばく低減に有効であるが、介助が必要な場合などは個別の対応が求められる。そのような場合も、必要以上に近づかずに案内や誘導を行うなど、被検者との接触時間を減らす工夫が必要である。また、FDGは頭部によく集まるので、可能な限り、被検者の頭側に立たないなどの注意は必要である。

(6)トイレ

PET検査では、撮像直前の排尿が重要であり、男性の排尿時の飛散による汚染は、汚染拡大の要因となる。トイレに吸収性の高いポリエチレンろ紙を敷くと、飛散した尿のほとんどがポリエチレンろ紙に吸収され、汚染の拡大を防止できる。日常のトイレ清掃は検査後直ぐより、翌朝の検査前に行う方が、物理的半減期により減衰しているので良い。

(7)モニタリングの利用

PET診療の開始初期には、リアルタイムに表示される個人線量計で線量をモニタリングし、安全管理委員会などで線量を評価し、被ばく対策について検討する。被検者を動く線源と認識し、常に自己管理して被ばく低減に努める。エリアモニタの設置は、放射線安全管理に役立つ。被検者の動きで線源が変動していることが容易に把握できる。個人被ばくや環境のモニタリングの測定結果を記録し、安全管理の資料として記録し活用する。個人線量が高い場合は、放射線診療従事者の人員を確保し、ローテーションを組むなど勤務体制の整備を考慮する必要がある。

2. 2　妊娠中の放射線診療従事者

管理者は、放射線診療従事者から妊娠している旨を申告された場合、該当する放射線診療従事者の妊娠期間中の内部被ばく実効線量が1mSvを超える、又は腹部表面の外部被ばくが等価線量で2mSvを超えると予想される場合、当該放射線診療従事者の同意の上で、業務内容の変更等の対応を検討しなければならない。

3. PET装置等の安全管理

医療機器全般の安全管理に関して、医療機器安全管理責任者を置くことが法律で義務付けられており、医療機器に関する十分な経験、及び知識を有する常勤職員であることが求められている。PET装置は、「特定保守管理医療機器」に指定されている。

詳細は、「PET/CT装置の品質保証と品質管理」の項を参照のこと。

4. 放射線防護(ICRP Publication105を中心に)

放射線防護の主たる目的は、放射線被ばくを生ずる有益な行為を不当に制限することなく、人と環境に対する適切な防護の基準を作成することである。医療用の放射線源は患者の健康管理のため意図的に使用され、制御された手法で使用されるよう設計される。放射線防護の基本原則は、ICRPの1990年勧告から2007年勧告に引き継がれ、以下の3つである。

・正当化：線源関連
・防護の最適化：線源関連
・線量限度の適用：個人関連(患者の医療被ばくにおいて線量限度は適用されない)

放射能の管理を円滑にする放射線防護の実際において、3種類の被ばく(医療被ばく、職業被ばく、公衆被ばく)に対し別々に適用されるので、区別を明確にする。

4. 1　放射線診療行為の正当化

個々の患者の被ばくの正当化は、必要な情報がその時点までにまだ得られていないことの確認を含める。単純な診断手法の場合は、患者の症状や徴候に対し、その手法がすでに一般的に正当化されている(適用がある)のであれば、さらなる正当化は必要ない。複雑な診断やIVRのような高線量の検査に対しては、医師による個別の正当化が特に重要であり、すべての利用可能な情報を考慮すべきである。提案されている手法と代替の手法の詳細、個々の患者の特徴、患者への予想される線量、さらに、過去の検査や治療に関する情報や今後予想される検査や治療に関する情報が得られるか否かの確認が含まれる。検査を依頼する判断基準と患者のカテゴリーを前もって決めておくことで、この作業はしばしば早くなるであろう。

PET検査に関しては、多くのがん診療ガイドラインに記載があり、推奨内容や推奨度などが記載されているため検査依頼の判断基準として利用できる。

4. 2　医療被ばくにおける患者防護の最適化

患者の防護において、損害と便益は同じ患者が受ける。患者の線量は原則として臨床上の必要性によって決まるため、線量限度や、線量拘束値を適用するのは不適切である。しかし、患者の線量を管理することは重要であり、診断参考レベルの利用によって診断やIVRの管理がしばしば容易になる。診断参考レベルの利用は、特定の画像診断の手法において患者の被ばく線量が著しく高いか低いかを評価する方法である。医療被ばくにおける防護の最適化は必ずしも患者の被ばく線量の低減を意味しない。患者線量の管理を通して実行される。支援したり元気づけたりして患者を助ける（職業被ばく以外の）個人の被ばくに対する防護の最適化の手法は、線量拘束値を用い最適化が図られる。

これに伴い現在日本では、介助者等に対し1行為あたり5mSv、一般公衆に対し1年に1mSvを基準に「放射性医薬品を投与された患者等の退出基準」が定められている。診断参考レベルに代わるものとして、日本核医学会の適正投与量や日本放射線技師会から医療被ばくガイドライン2006などの指針が示されている。

4. 3　職業者の線量限度（表）

放射線診療従事者に対する確定的影響の防護を目的として、3種類の組織について等価線量限度が規定され、また確率的影響の防護のために実効線量限度が規定されている。実効線量限度と等価線量限度はICRP Publication60（1990年)勧告の職業被ばくの線量限度をほぼ取り入れた形となっている。2007年勧告の法令への取り込みに関しては大幅な変更の可能性はないが、現在検討されている。

項目	線量限度
実効線量限度	
基本	100mSv/5年（2001年4月1日から5年ごと） 50mSv/年（4月1日からの1年）
緊急作業 （女子を除く）	100mSv
女子	5mSv/3月（4月1日、7月1日、10月1日、1月1日からの3ヵ月）
妊娠中の女子	1mSv（内部被ばく:申告から出産までの期間）
等価線量限度	
目の水晶体	150mSv/年（4月1日からの1年）
緊急作業	300mSv
皮膚	500mSv/年（4月1日からの1年）
緊急作業	1Sv
妊娠中女子の 腹部表面	2mSv

女子：妊娠する可能性がないと判断された者、妊娠する意志がない旨病院又は診療所の管理者に書面で申し出た者、及び妊娠中である女子を除く。

表　放射線診療従事者の線量限度（医療法施行規則第30条の27）

4. 4　一般公衆の線量限度

わが国において、公衆に対する線量限度としては、法令等に定められていない。線源管理の観点から、病院等施設の敷地境界において250μSv/3月間の限度が定められ、これを担保することで、1年あたり1mSvを一般公衆が超えないことになる。

参考文献

1. 医療法施行規則（昭和23年11月5日厚生省令第50号）
2. 医療法施行規則の一部を改正する省令の施行等について（平成16年8月1日医政発第0801001号厚生労働省医政局長通知、平成17年6月1日医政発第0601006号厚生労働省医政局長通知）
3. 良質な医療を提供する体制の確立を図るための医療法等の一部を改正する法律の一部の施行について（平成19年3月30日医政発第0330010号厚生労働省医政局長通知）
4. 平成16年厚生労働省科学研究費補助金 医療技術評価総合研究事業 PET検査施設における放射線安全の確保に関する研究会編 FDG-PET検査における安全確保に関するガイドライン（2005年）, 2005
5. （社）日本アイソトープ協会編 ^{18}F-FDGを用いたPET診療における医療放射線管理マニュアル, 2008
6. 日本核医学技術学会出版委員会編 核医学技術総論, 2008
7. 日下部きよ子編　必携！がん診療のためのPET/CT―読影までの完全ガイド―, 2006
8. （社）日本アイソトープ協会翻訳 ICRP Publication 103 国際放射線防護委員会の2007年勧告, 2009
9. （社）日本アイソトープ協会翻訳 ICRP Publication 105 医学における放射線防護, 2012
10. 日本核医学会「放射性医薬品等適正使用評価委員会」編 厚生労働省平成13年度、14年度委託研究 関係学会医薬品等適正使用推進試行的事業実施要綱 放射性医薬品の適正使用におけるガイドラインの作成
11. 渡辺 浩. 放射線診療における線量低減目標値「医療被ばくガイドライン2006」(6) 核医学. 日本放射線技師会雑誌2007; 54：501-514.

デリバリーPET検査の実際

自治医科大学附属病院 中央放射線部 川村 義文

1. 予約時

1）PET検査スケジュール

デリバリーFDGの場合、1バイアル全量投与が基本になるため投与時刻により放射能量が異なる。そのためできるだけ体重あたりの放射能量（2～5MBq/Kg：3D収集）[1]が大きく変わらないように、体重を考慮したスケジュール管理が望まれる。

2）注意事項

被検者に対して、以下のことを守らないと当日PET検査が出来なくなる場合があることを説明する。

a. FDG投与前4～6時間絶食する。ただし、糖分を含まない水分は摂取して良い。
b. PET検査前日から運動を避ける。
c. 糖尿病の場合、インスリン投与はFDG投与前4時間以内を避ける。

PET検査を予約するにあたり依頼医も以下のことを理解している必要がある。

a. PET検査の前にFDG集積に影響を与えるような検査を行わない。
b. 周囲への被ばくを考慮し、PET検査終了後に対人して行う検査や診察を行わないようにする。
c. 血糖値の問題で当日PET検査が中止にならないように被検者の血糖値を把握する。またインスリンを使用している糖尿病の患者にはPET検査当日の食事やインスリンの使い方を説明する。

3）その他

デリバリーPET検査の特殊性を被検者に理解していただく。

a. PET検査は2～2時間半程かかる。
b. 使用する医薬品（FDG）がPET検査の直前に届くため、交通事情等により検査時間が遅れたり検査が出来ない場合がある。

2. PET検査当日

1）血糖値測定・身長体重測定

PET検査時の血糖値は150mg/dL未満が望ましい。150mg/dLを超える場合は施設の基準に基づいて対処する。

2）PET検査の流れ

PET検査の流れをパンフレット**（図1：参考）**等を用いて説明する。また、FDG投与後は従事者の被ばく軽減のために、必要以上に被検者に近づかないこと、及び車いす等介助の必要な場合は付き添い者に一緒に居て頂くことを伝える。

3）時間の管理

FDGの放射能量は時間とともに減衰するため、管理区域内の時間が正確であることを確認する。

3. FDGの投与量とPET/CTの撮像条件

体重あたりの放射能量が大きく変わらないようにスケジュール管理しても、体重あたりの放射能量を一定にした撮像条件を組むことは難しい。各施設でPET画像の視覚的評価から体重やBody mass index（BMI）を考慮した撮像条件表を作成していると思われる。得られたPET画像について物理学的指標（$NEC_{patient}$＞13, $NEC_{density}$＞0.2, 肝SNR＞10）[2]を満たしているか確認することも大事である。

参考としてデリバリーPET施設のPET/CT装置の撮像条件と画像再構成条件を**図2**に示した。

謝辞

PET/CT装置の撮像条件・画像再構成条件をご提供頂いた大阪府立急性期・総合医療センター、倉敷中央病院、恵佑会札幌病院、札幌医科大学附属病院、自治医科大学附属さいたま医療センターに深謝申し上げます。

参考文献
1）院内製造されたFDGを用いたPET検査を行うためのガイドライン（第2版）日本核医学会. 核医学; 2005; 42（4）.
2）がんFDG-PET/CT撮像法ガイドライン. 核医学技術2009; 29: 195-235.

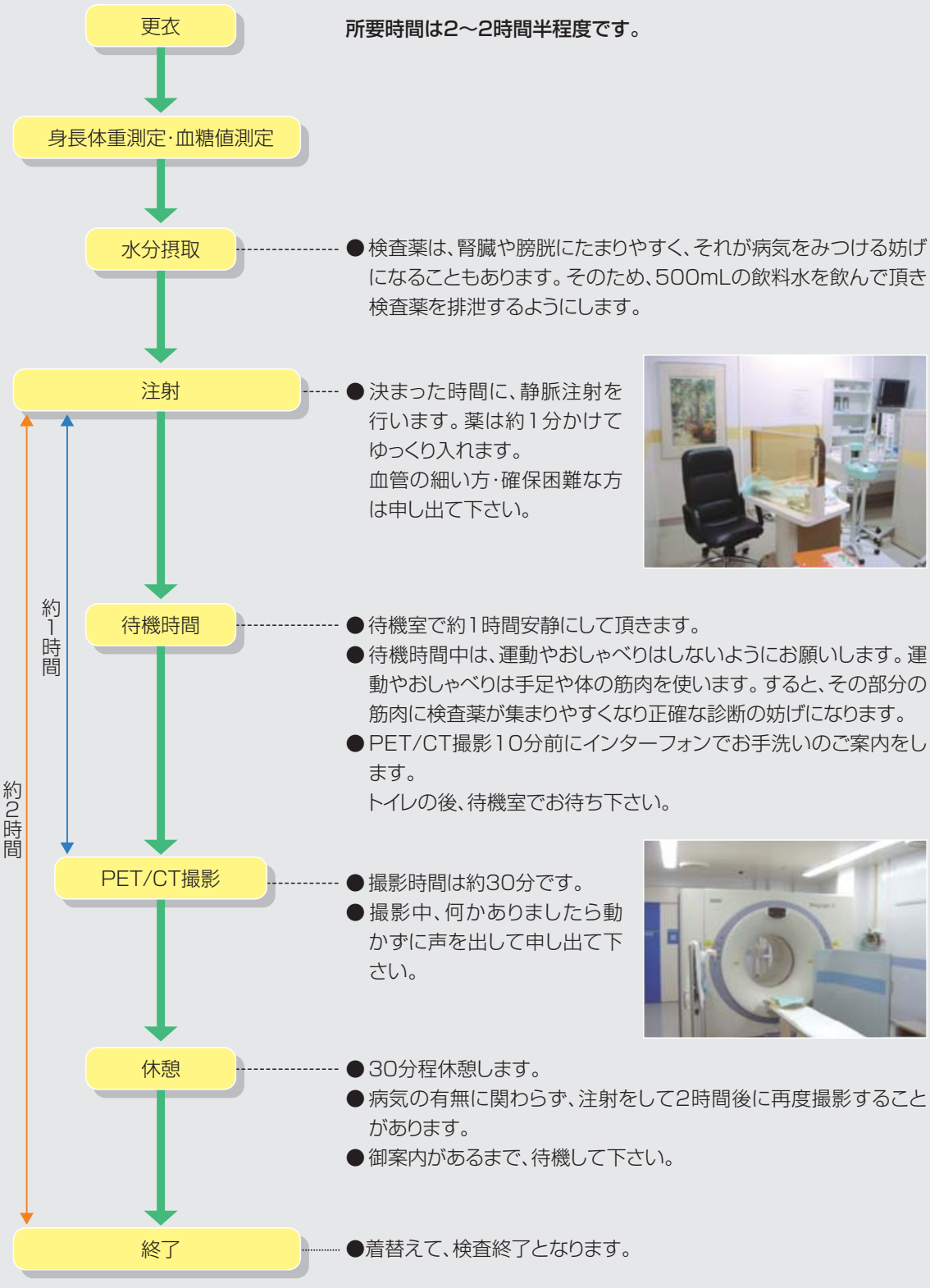


図1 PET検査の流れ（参考）

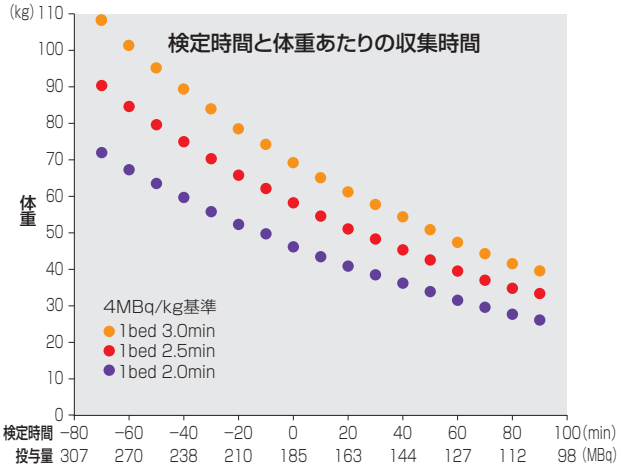
PET/CT装置（A）の撮像条件

PET収集時間は、下記計算式により算出し、最短40秒、最長120秒としている。体重あたり投与量3MBqで、1bedあたり90秒撮像を基準とし、体重あたりの投与量に反比例させ、またBMIによる重みづけ係数を使用している。

撮像時間＝90（sec/bed）×BMIによる係数（sec/bed）　×3（MBq/kg）×体重（kg）÷投与量（MBq）

BMI	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
重みづけ係数	0.67	0.68	0.75	1.00	1.28	1.48	1.54

PET/CT装置（B）の撮像条件



検定時間	投与量	1bed 2.0分撮像	1bed 2.5分撮像	1bed 3.0分撮像
−70分	288MBq	72kg	90kg	108kg
−60分	270MBq	68kg	85kg	102kg
−50分	254MBq	64kg	79kg	95kg
−40分	238MBq	60kg	75kg	90kg
−30分	224MBq	56kg	70kg	84kg
−20分	210MBq	52kg	66kg	79kg
−10分	197MBq	50kg	62kg	74kg
0分	185MBq	46kg	58kg	70kg
10分	174MBq	44kg	55kg	65kg
20分	163MBq	41kg	51kg	61kg
30分	153MBq	38kg	48kg	58kg
40分	144MBq	36kg	45kg	54kg
50分	135MBq	34kg	42kg	51kg
60分	127MBq	32kg	39kg	47kg
70分	119MBq	30kg	37kg	45kg
80分	112MBq	28kg	35kg	42kg
90分	105MBq	26kg	33kg	40kg

PET/CT装置（C）の撮像条件

sec/bed		BMI ～17	18～19	20～21	22～23	24～25	26～27	28～29	30～
%Activity（100%＝3.7MBq/Kg）	175～	100	100	110	110	120	135	150	165
	150～174	100	110	110	120	135	150	165	180
	125～149	110	110	120	135	150	165	180	210
	100～124	110	120	135	150	165	180	210	210
	75～99	120	135	150	165	180	210	210	210

PET/CT装置（D）の撮像条件

投与量（MBq）/体重（kg）	～2.50	2.51～3.50	3.51～6.99	7.00～
sec/bed	180	150	120	90

PET/CT装置（E）の撮像条件

120sec/bed、体重で検査枠を作成

PET/CT装置（F）の撮像条件

180sec/bed

PET/CT装置（A～F）の画像再構成条件

PET/CT装置	マトリクスサイズ	再構成法	繰り返し回数	サブセット数	Gaussianフィルタ（mm）
A	144×144	3D-OSEM	3	33	—
B	128×128	OSEM	14	4	8
C	168×168	OSEM	4	14	6
D	128×128	OSEM	4	14	8
E	144×144	RAMLA	—	—	—
F	128×128	OSEM	2	21	5.14

図2　デリバリーPET施設のPET/CT装置の撮像条件と画像再構成条件

PET/CT装置の品質保証と品質管理

倉敷中央病院 放射線センター　長木 昭男

PET/CT装置の急速な技術進歩により、CT装置は検出器が多列化しPET装置は新しいシンチレータや3次元収集により空間分解能や感度が向上した。さらに高いS/N比（signal-to-noise ratio）が得られるTOF（time of flight）や分解能補正を組み込んだ画像再構成法が報告されている[1)]。

核医学検査を安全で正確、そして高い診断精度で施行するためには、放射性医薬品や使用装置の安全手順書を作成して実施すべきであり[2)]、またPET画像やCT画像の画質を一定に維持するためには保守管理が重要となる[3,4)]。PET/CT装置の品質保証と品質管理は、装置の性能評価[5-7)]、データ収集および画像処理方法による画質評価[8)]、装置の点検や校正などの保守管理について留意する必要がある[9-11)]。さらに、得られた結果は、製造業者の仕様書の数値やガイドラインの標準的な撮像法と比較して最適な撮像法を検証することが重要である。ここではPET/CT装置の品質保証と品質管理について最近の報告やガイドラインを参考にして述べる[2-11)]。

1. PET/CT装置の性能評価

PET装置の性能評価については、National Electrical Manufactures Association（NEMA）[5)]や日本画像医療システム工業会（JIRA）[7)]の定めた規格が報告されている。PET検査における撮像技術に関するガイドラインでは、核種に^{18}Fを用いたNU2-2001、JESRA X-0073、JESRAX-0073*A2005を引用規格として報告している[6)]。PET/CT装置の性能測定の目的は、装置における設置直後の初期性能評価および大規模な修理や調整後の性能評価である。また、異なるPET装置の性能比較を行うことも可能である。性能測定には専用のファントムと治具**（図1）**を使用し、PET装置でサイノグラム作成やヘッダ情報の取得、PET画像に関心領域（ROI：region of interest）設定と解析などを行うため製造業者に測定方法の確認を必要とする。

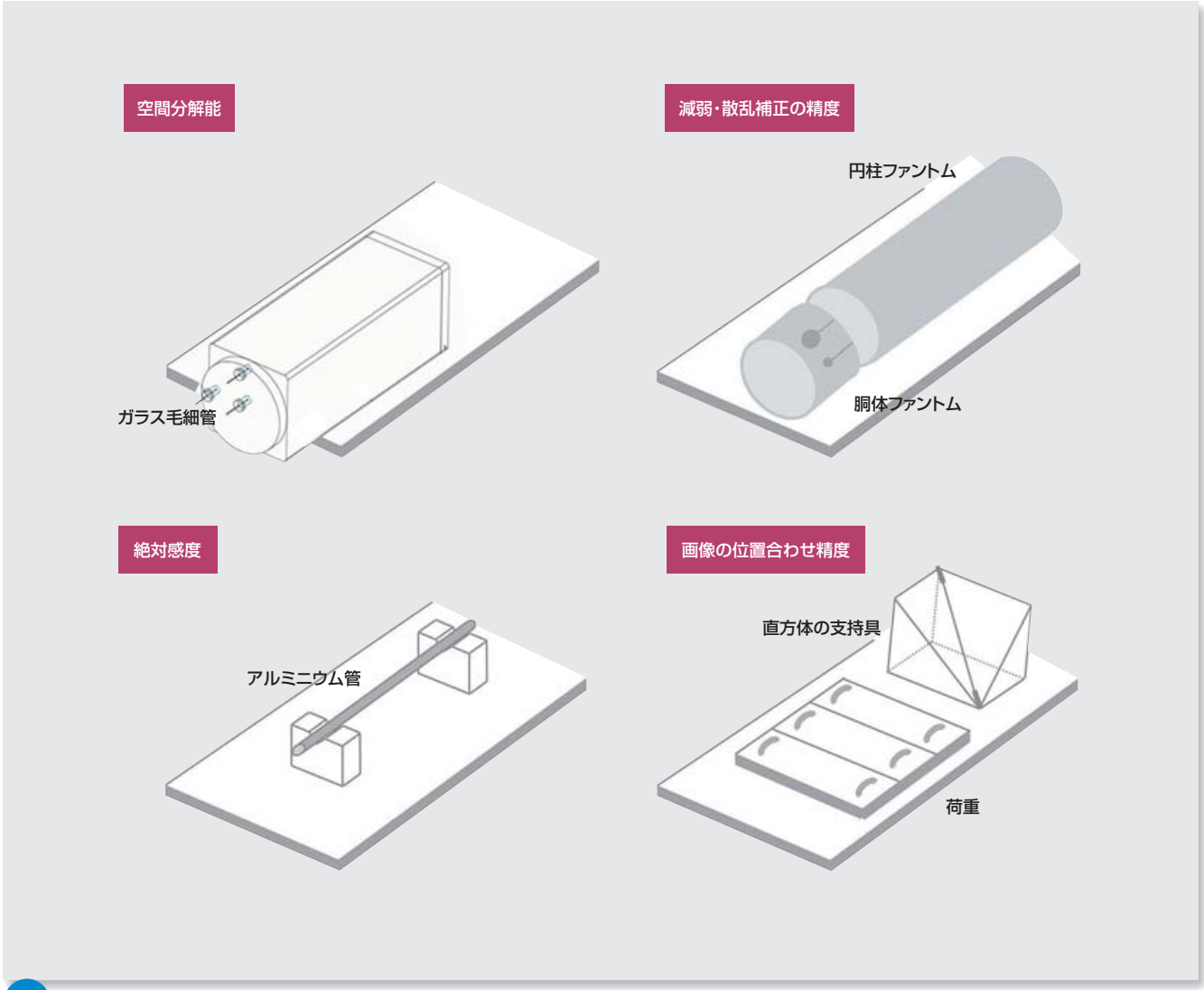


図1　PET装置の性能評価に使用するファントムと治具

しかし、一部のPET装置では性能評価ができない項目が発生することもある。

1-1　空間分解能

ガラス毛細管で作成した点線源を使用して測定する。ピクセルサイズは予想される半値幅（FWHM：full width at half maximum）の1/3以下に設定して平滑化フィルタ処理を行わないフィルタ逆投影（FBP）法で画像再構成を行い、再構成画像上で2点を分離する能力をFWHMと1/10値幅（FWTM：full width at tenth maximum）で評価する。

1-2　計数率特性（散乱フラクション、計数損失、雑音等価計数率）

放射能を封入した長さ800mmのポリエチレンチューブと全長700mmのポリエチレン製円柱ファントムを使用して雑音等価計数率が最大値付近では十分な測定頻度で可能な限り低線量率まで測定する。高放射能におけるプロンプト同時計数率、真の同時計数率、偶発同時計数率、散乱同時計数率、雑音等価計数率の正確性、PET装置の差異による散乱線の影響を評価する。

1-3　絶対感度

放射能を封入したプラスティックチューブと内径の異なる5本のアルミニウム管（スリーブ）を使用して可能な限り低線量率で測定する。各スリーブの総計数率を算出してフィッティングを行い吸収体がない場合の絶対感度を外挿して評価する。

1-4　画像濃度の均一性

放射能を封入した内径200mmの円柱ファントムを使用して可能な限り低線量率で測定する。臨床条件と同様の補正とFBP法で画像再構成を行い、各種補正の影響を加味したPET装置固有の画像濃度の均一性を評価する。

1-5　計数損失および偶発同時計数補正の精度

装置の不感時間による計数損失および偶発同時計数補正の精度は、低い計数率データから外挿した値と測定した真の同時計数率の差を、相対誤差として評価する。低い計数率では不感時間による計数損失と偶発同時計数に起因する誤差は問題にならないと仮定している。計数率特性の測定データを代用してもよい。

1-6　減弱・散乱補正の精度

NEMA NU2-2001 Standardで規定されている胴体ファントム（以下、胴体ファントム）および全長700mmのポリエチレン製円柱ファントムを使用して100cm/60分となる1bedの収集時間で測定する。臨床条件と同様の方法で画像再構成を行い、10、13、17、22mm径のホットコントラスト、28、37mm径のコールドコントラスト、バックグラウンド均一性、減弱補正と散乱補正の精度を評価する。

1-7　画像の位置合わせ精度

400mm（幅）×300mm（奥行き）×300mm（高さ）の直方体の支持具と線源、および人と等価の荷重（60～70kg）を使用して測定する。寝台のたわみなどに起因する機械的な位置合わせ調整およびPET画像とCT画像の同じ部位の断面での重ね合わせ精度を評価する。

1-8　性能評価の測定順序と解析

医薬品FDGの供給を受けてPET検査を行う施設では、限られた放射能（線源）で効率よくPET/CT装置の性能評価試験を実施する必要がある。すなわち、空間分解能、絶対感度、画像の位置合わせ精度、画像濃度の均一性を1バイアル、計数率特性、計数損失および偶発同時計数補正の精度を1～3バイアル、減弱・散乱補正の精度を1バイアルとして、3グループに分割して測定するとよい。また、PET/CT装置の性能・画質評価解析には、FDG-PET検査における撮像技術に関するガイドラインおよびがんFDG-PET/CT撮像法ガイドラインに準拠したソフトウエアが使用できる[12]。

2. PET/CTの画質評価

PETの画質は、PET/CT装置、被検者の体格、投与量、撮像時間などに依存し、同じ投与量でも被検者の体格が異なれば使用する装置に合わせて収集時間を変更することが望ましい。画質が低下すれば、診断精度も低下する可能性がある。したがって、一定以上の標準的な画質を得るためには、撮像法や画質を評価する基準を定める必要がある。がんFDG-PET/CT撮像法ガイドラインでは、多機種でのファントム試験による臨床画像評価の標準的な数値目標を報告している[8]。

2-1　ファントム試験

胴体ファントムを使用して、第一試験は10mm径の陽性病変を描出するための撮像条件、第二試験は10、13、17、22、28、37mm径の大きさのホット球の描出能および部分容積効果から空間分解能を評価する。

2-1-1　第一試験

胴体ファントムのバックグラウンド放射能濃度は5.30kBq/mLとして、10mm径のホット球とバックグラウンドの濃度比

を4：1に設定して測定する。収集方法はリストモード収集を最低12分間行うが、リストモード収集が出来ない装置でもスタティック収集を繰り返すことで測定可能である。さらに、より低投与量を模擬して2.65kBq/mLとなる1半減期後にも同様に測定する。

描出能は、10mm径のホット球を識別する視覚評価およびサイノグラムヘッダ情報の同時計数値からファントム雑音等価計数（NECphantom）、10mm径ホット球の%コントラスト（$Q_{H,10mm}$）、%バックグラウンド変動性（N_{10mm}）を算出して評価する**（図2）**。物理学的指標は、描出能スコアリングが1.5となる各評価項目の中央値でNECphantom＞10.4（Mcounts）、N_{10mm}＜6.2（%）、$Q_{H,10mm}/N_{10mm}$＞1.9（%）としている**（図3）**。

2-1-2　第二試験

胴体ファントムのバックグラウンド放射能濃度は2.65kBq/mL

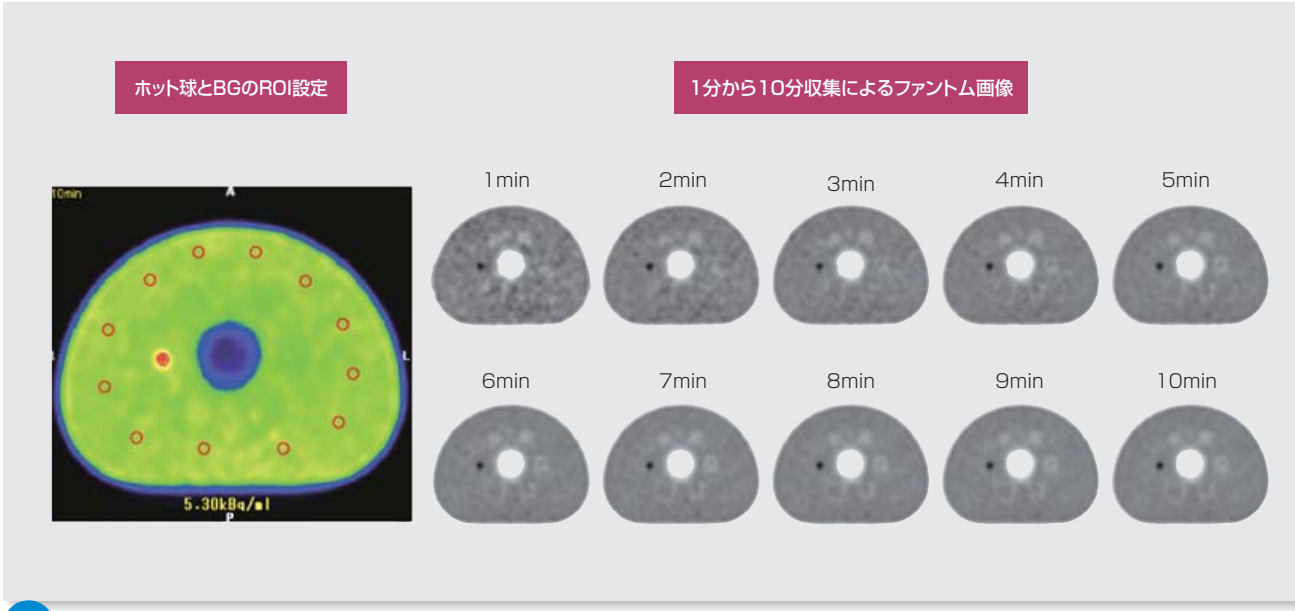


図2　第一試験のROI設定と10mm径ホット球描出能

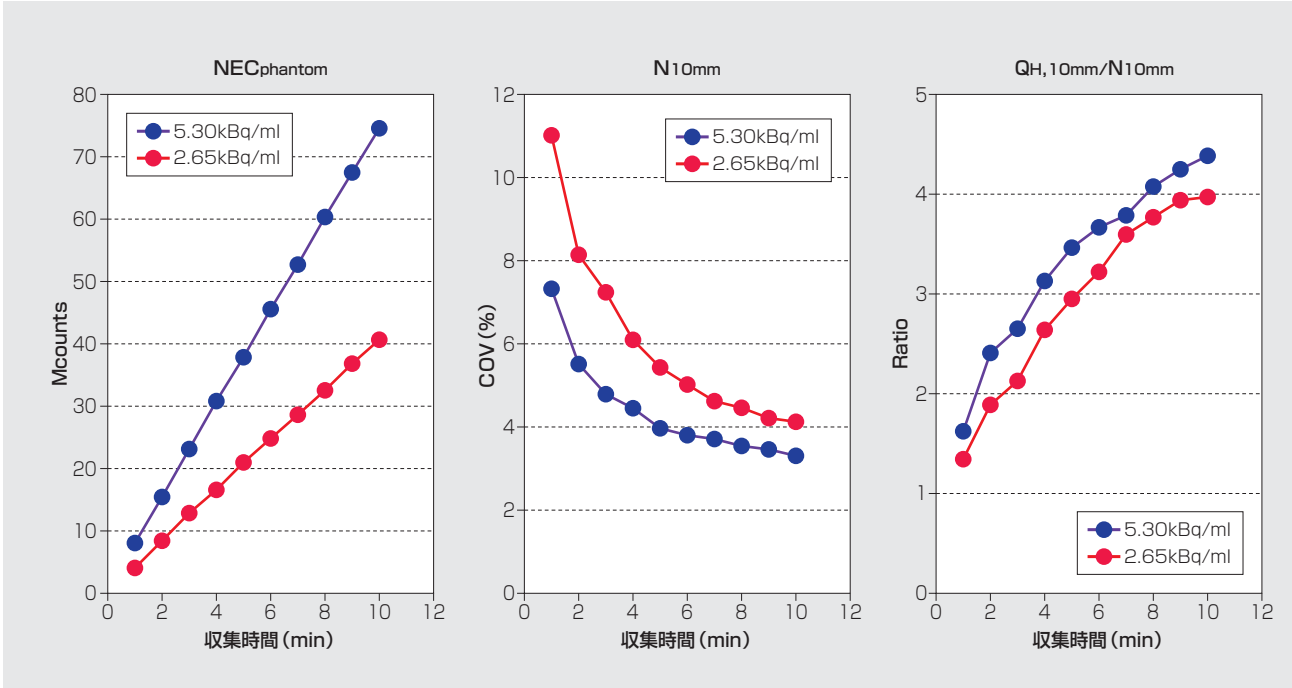


図3　第一試験の物理学的指標

として、10、13、17、22、28、37mm径のホット球とバックグラウンドの濃度比を4：1に設定して測定する。収集方法は、臨床条件および30分間のスタティック収集を行う。画像再構成は臨床条件と同様の方法で行い、リカバリ係数（RC：recovery coefficient）は各ホット球にROIを設定して37mm径のホット球の最大計数値に対する各球の最大計数値から算出する**（図4）**。第一試験から引き続き第二試験を行う場合には、1.33kBq/mLとなる2半減期後に測定する。

画質評価は、臨床条件のPET画像から$Q_{H,10mm}$、N_{10mm}および30分収集のPET画像からリカバリ係数を算出する。物理学的指標は、$NEC_{phantom}$＞10.4（Mcounts）、N_{10mm}＜6.2（%）、$Q_{H,10mm}/N_{10mm}$＞1.9（%）、リカバリ係数＞0.38としている。リカバリ係数の0.38は、既知の分解能を10mmとしたデジタルファントムのシミュレーションから決定している。

2-2　臨床画像評価

臨床画像は被検者の体格などに依存してファントムの結果が当てはまらない場合があり、使用装置（機種）に適した撮像条件を設定する必要がある。臨床画像で一定の画質を得るには、様々な被検者の臨床画像を物理学的指標で評価し確認する。

2-2-1　$NEC_{patient}$および$NEC_{density}$

被検者の脳および膀胱部を除いた頸部から腹部までの領域におけるプロンプト同時計数値と偶発同時計数値をヘッダ情報から得る。$NEC_{patient}$は被検者の雑音等価計数（NEC：noise equivalent count）を撮像長で除して算出し、$NEC_{density}$は撮像長における被検者体積で除して算出する。物理学的指標は、$NEC_{patient}$＞13、$NEC_{density}$＞0.2としている。

2-2-2　肝SNR

被検者の冠状断面像にて肝臓に直径約3cmの円形ROIを肝門部および主要な血管系を含まないように3スライスに設定する。肝SNRは画像の均一性を表し、ROI の平均値を標準偏差で除した値を算出する。物理学的指標は、肝SNR＞10としている**（図5）**。

3. PET/CT装置の保守管理

PET/CT装置の性能は他の医療機器と同様に経年劣化するが、特にPET装置は温度や湿度など設置環境の影響を受けやすい。急激な性能の劣化は明らかに画像診断に影響を及ぼすが、連続的でわずかな変化は画像診断の低下として判断することが困難である。したがって、PET/CT装置の劣化を防ぎ性能と安全性を維持するための管理や校正についてそれぞれ日常点検および定期点検を実施する[6,10,11,13]。日常点検は検査前に装置の異常が無いか確認すること、定期点検は装置の故障を未然に防ぐことを目的としている。また、大規模な修理や調整の後にも性能と安全性に関する点検を行うべきである。保守管理体制に必要な管理手順書、保守計画や記録は、装置の添付文書または製造業者の取扱説明書を参照して作成する。

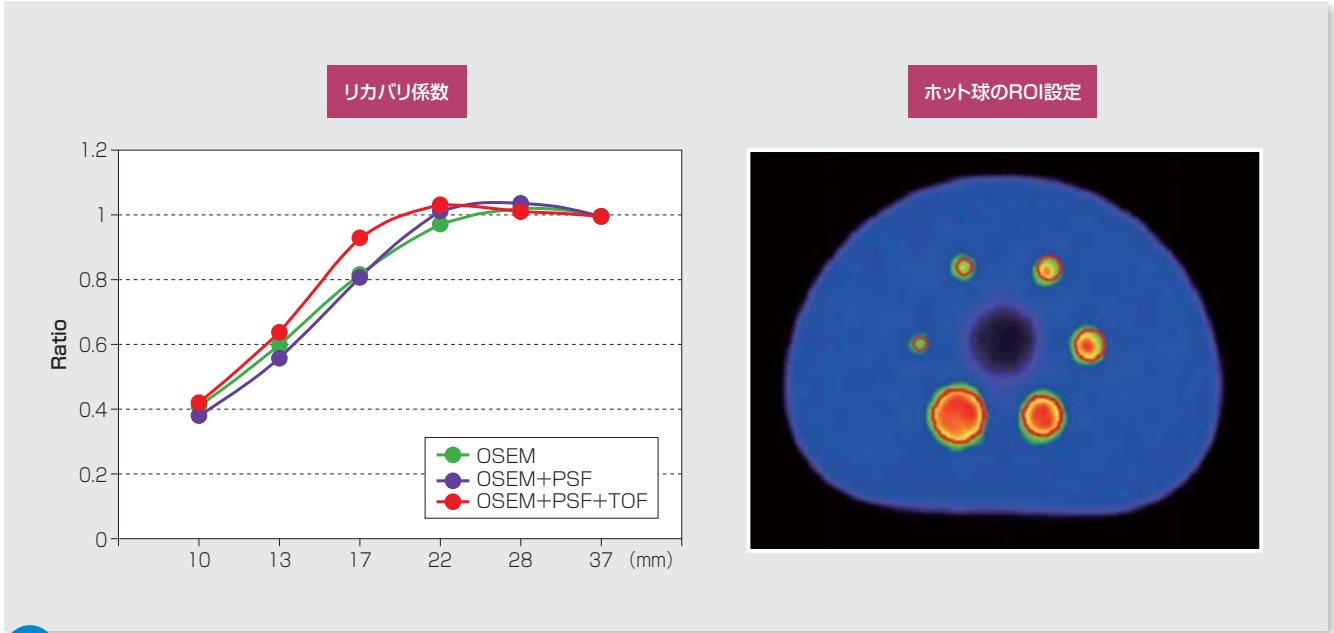


図4　第二試験のROI設定と物理学的指標

3-1　日常点検

環境や設備（温度、湿度、空調設備、インターフォンでの通話、装置周辺の障害物など）、装置の外観や動作（ガントリ、寝台、各種スイッチ、放射性医薬品による汚染、投光器など）、システム起動（コンソールの正常動作、ハードディスク空き容量、daily QCによるPET検出器異常**（図6）**など）、CT装置（X線管のウォームアップ、ファントムをスキャンしたCT値やSD値の異常、画像ムラ、アーチファクトなど）がある。

3-2　定期点検

PET装置は、性能評価として空間分解能、絶対感度、計数率特性があり、均一性も推奨されている。また、検出器の感度はどれも同じではないので、検出器ごとの計数率を測定して感度補正用のテーブルを作成するノーマリゼーションがある。

CT装置は、CT画像を形態診断だけでなくPET画像との融合や減弱補正データに用いているため正確なCT値が重要である。検出器のエア・スキャンや水ファントムを用いた CT値の確認と校正がある。

3-3　クロスキャリブレーション

定量測定を行う場合は、PET画像の測定値を放射能濃度の単位に換算するための校正が必要である。これをクロスキャリブレーションといい、そのための係数をクロスキャリブレーションファクタ（CCF：cross calibration factor）という。放射能濃度の単位は、採取血液を測定するウェルカウンタはcps/mL、投与量を測定するドーズキャリブレータはBq/mLである。SUV（standardized uptake value）を測定する場合は、PET装置とドーズキャリブレータとの間のクロスキャリブレーションが必要である**（図7）**。

クロスキャリブレーションの方法は、まずドーズキャリブレータで測定した^{18}F溶液を既知の内容積の約20cm程度の円柱ファントムに封入して十分に撹拌したのちにPET/CT装置で撮像する。次に臨床と同一条件でPET画像を再構成する。校正係数は、PET画像にROIを設定して得られた測定値と円柱ファントムの単位体積当たりの放射能量の比から算出する。

クロスキャリブレーションは、PET装置、ウェルカウンタやドーズキャリブレータの感度が変動するため定期的に行うことが望ましい。とくに、大規模な検出器の調整などを行った後はクロスキャリブレーションを行った方がよい。このとき、いつも一定の方法、一定の条件で測定するように注意する[3)]。

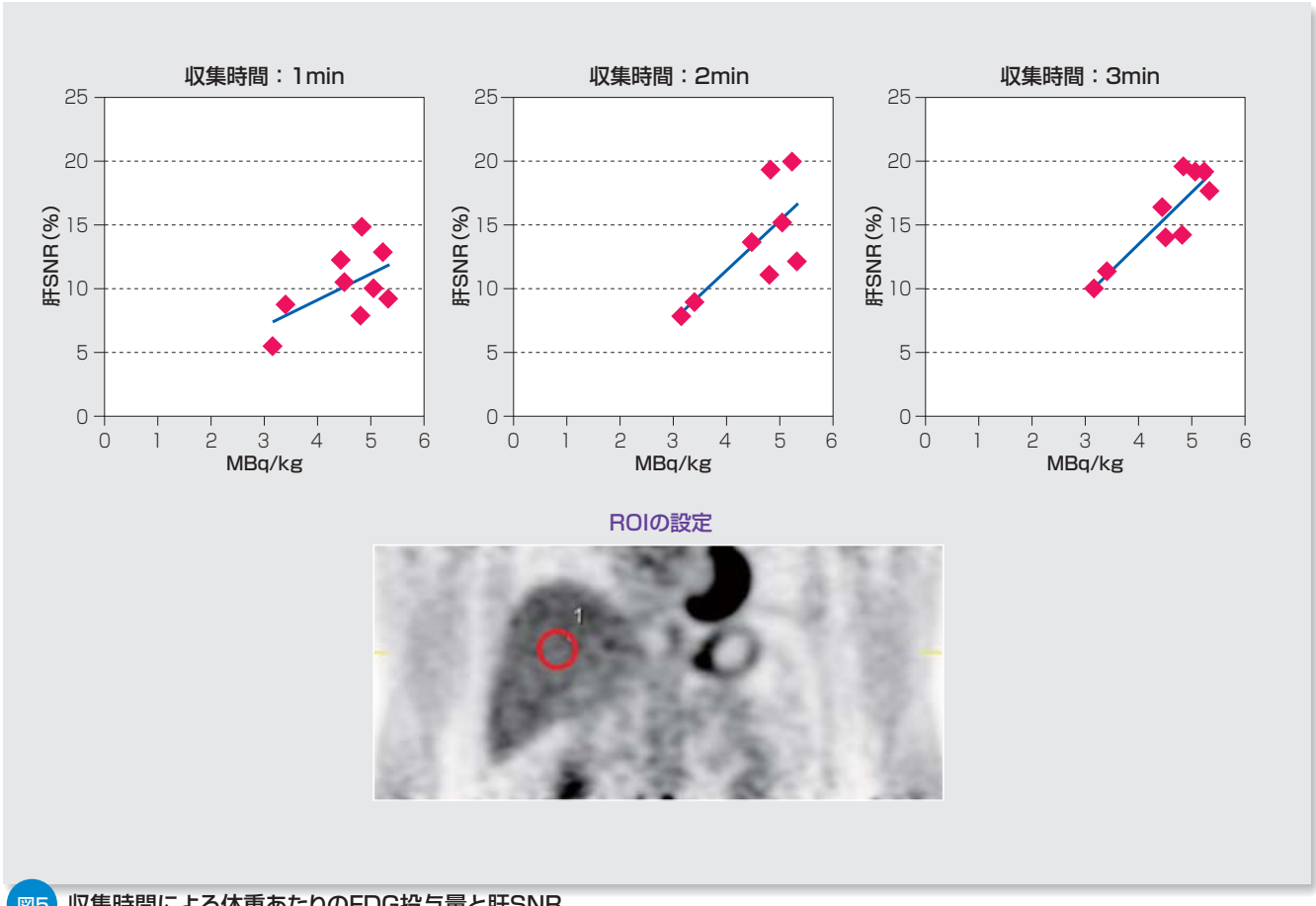


図5　収集時間による体重あたりのFDG投与量と肝SNR

図6 PET/CTのdaily QCと検出器異常時のサイノグラム

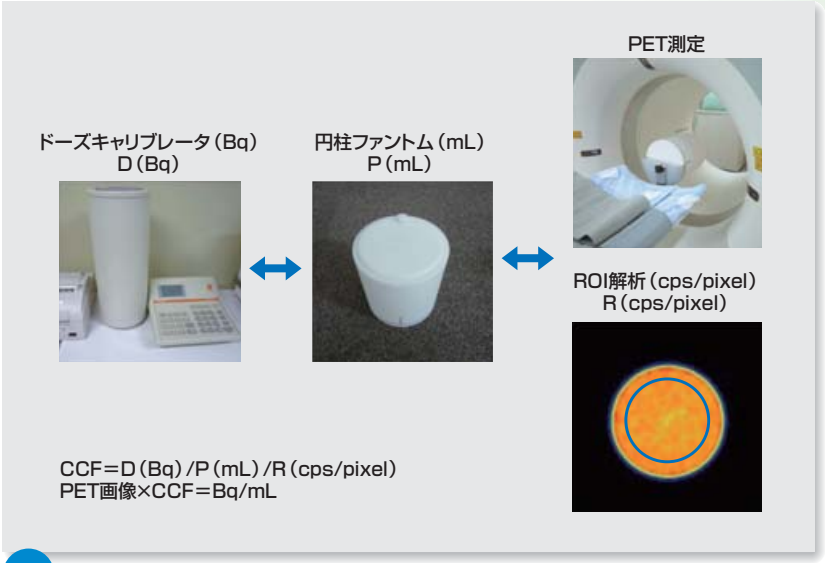


図7 クロスキャリブレーション

参考文献
1）Townsend DW. Dual-Modality Imaging: Combining Anatomy and Function. J Nucl Med 2008; 49: 938-955.
2）日本核医学会：核医学診療事故防止指針. 核医学2004; 41（1）.
3）日本核医学会：院内製造されたFDGを用いたPET検査を行うためのガイドライン（第2版）. 核医学 2005; 42（4）1-22.
4）日本核医学会：FDG-PET検査における安全確保に関するガイドライン（2005年）. 核医学 2005; 42（2）: 1-26.
5）National Electrical Manufacturers Association. NEMA Standards Publication NU 2-2007: Performance Measurements of Positron Emission Tomographs. Rosslyn, VA: National Electrical Manufacturers Association; 2007.
6）日本核医学技術学会：FDG-PET検査における撮像技術に関するガイドライン. 核医学技術 2007; 27: 425-456.
7）（社）日本画像医療システム工業会：PET装置の性能評価法JESRA X-0073＊C2008. 2008.
8）日本核医学技術学会：がんFDG-PET/CT撮像法ガイドライン. 核医学技術 2009; 29（2）: 195-235.
9）日本放射線技術学会：放射線関連装置の始業・終業点検表（Ver.1）について. 日本放射線技術学会雑誌 2008; 64（8）: 1015-1018.
10）（社）日本画像医療システム工業会：保守点検などの情報. 画像診断機器の点検表 http://www.jira-net.or.jp/anzenkanri/01_hoshutenken/01-03.html
11）（社）日本画像医療システム工業会：PET装置の保守点検基準JESRA T1-0001＊A2009. 2009.
12）京都医療科学大学医療科学部、日本メジフィジックス株式会社：PET quact 取扱説明書. 2012.
13）四月朔日聖一. PET装置と周辺機器の品質管理. 核医学技術 2006;

臨床

PET画像読影のポイント

天理よろづ相談所病院 RIセンター　御前 隆 先生

1. 読影の手順

PET画像読影には、表示条件が調節できるワークステーションないしビューワーを用いるべきである。紙やフィルムに印刷された画像を眺めるだけでは固定された表示条件でしか評価できないため、詳細な検討には不十分である。通常は縦隔の血液プールや肝臓の生理的集積が薄い灰色に見え、かつ肺野が白く抜けた表示条件で読影すると、異常集積部位が黒ないし濃い灰色で浮かびあがり認識しやすい。しかし、この条件で脳を表示すると全体が真っ黒になるので、ウィンドウ幅をぐっと広げ、灰白質の強い生理的集積がグレースケールの中央付近に来るようにしないと、局所的な集積低下ないし集積亢進箇所がみつけられない。また、下腹部から骨盤腔内でhot spotを見た際にウインドウ幅を広げることで、尿管や膀胱内の尿か、リンパ節転移などの真の病変かを区別できることが多い。逆に、早期肺癌などで淡い集積しか示さない病変を観察するには、必要に応じてウインドウ幅を一時的に狭める。

当然のことであるが、レポート作成のために、行なわれた検査について参照可能な画像のすべてに目を通す必要がある。MIP（maximum intensity projection）画像は全体像の把握に適しているため最初に観察されることが多いが、MIP画像のみで判断してはいけない。多方向からじっくり観察したつもりでも、個別の断面で小さな転移や副次病変がみつかることが少なくない。体軸横断像はX線CTが臨床応用され始めた時代から画像診断医が最もなじんでいる断面であり、MIP画像で気になった集積箇所の局在を確認する際や、解剖学的画像との対比にも適している。前額断は肺門縦隔のリンパ節病変や肝転移などの検索に幅広く有用であり、また矢状断は食道・脊椎・脊髄や骨盤内病変の評価に特に有用である。いずれの断面においても表示条件を適宜調節しつつ、陽性箇所の形状や集積程度から性質を推定しながら観察する。

PET/CT融合機においては、CT部分の画像も参照する。通常は縦隔条件で表示するが、必要に応じて脳条件・肺野条件・骨条件などでも観察する。PET/CT融合画像は病変の局在がはっきりする点で役立つが、呼吸性移動や体動のため、位置ずれが生じている可能性もあるので過信してはいけない。

以上のように系統だった読影作業を行なえば、1症例当り少なくとも10分程度はかかるであろう。再検の場合は前回検査と対比する必要があり、また先行する他の画像検査がある場合には当然それらも参照するので、所要時間はもっと延びる。

2. 生理的集積

FDGはブドウ糖の誘導体であり、糖代謝の盛んな正常組織に生理的に取り込まれる。また、一部は尿から排泄される。PET画像で通常でも描出されうる臓器・組織としては、脳・脊髄、外眼筋、鼻腔、口腔、唾液腺、扁桃、心筋、肝臓、脾臓、胃、腸管、骨髄、腎臓、尿管、膀胱、精巣が挙げられる。その他に年齢、性別、月経周期などにより、胸腺、乳腺、褐色脂肪、副腎、子宮内膜、卵巣、回盲部リンパ組織などが見え、病的集積との鑑別が必要となることがある。

3. 良性疾患、アーチファクト

FDGの集積には疾患特異性がないため悪性腫瘍のみならず一部の良性疾患でも陽性となることがあり、また病変と紛らわしいアーチファクトにも注意が必要である。以下に代表的なものを記したが、詳しくは、体の部位ごとに陽性所見を呈しうる候補病名や生理的集積・アーチファクトを列挙したGamut of FDG-PETが作成されているので参照願いたい[1]。

悪性腫瘍との鑑別で常に問題になるのが活動性炎症である。副鼻腔炎、肺炎（誤飲性・感染性・間質性）、胆嚢炎、軟骨炎、結腸憩室炎、皮膚化膿症、膿瘍など個別の臓器組織の炎症で強い取り込みがみられるほか、病期診断においても口腔内炎症や膠原病に伴う反応性リンパ節炎がリンパ節転移と紛らわしいことがある。また、ウイルスや結核などの感染症やサルコイドーシスその他の肉芽腫性疾患により全身の多数の臓器が侵され、時に癌の多発転移や進行した病期のリンパ腫に似た所見となりうるので注意が必要である。なお、骨髄のびまん性集積は慢性炎症や貧血に対する反応性の増殖を反映していることも多いので、ただちにびまん性転移（骨髄癌腫症）やリンパ腫波及と判断してはならない。

外傷および侵襲的医療行為もしばしば偽陽性の原因となる。前者の代表として骨折、打撲や各種の傷があり、後者には術創、胸腔・腹腔・骨髄などの穿刺、穿刺吸引細胞診、予防接種やインシュリンなどの皮下注射、放射線治療（外照射）、カテーテルや内視鏡による擦過などが含まれる。また、手術により胃管再建、尿路変更、ストマ（人工肛門）造設などが行なわれていれば、当然その部位に生理的集積・排泄がみられることになる。さらに、人工関節・髄内釘・ステントグラフト・ドレナージチューブなど、人工物が埋め込まれている箇所の周囲組織には反応性の集積が起こりうる。

高齢者においては、変形性関節症・脊椎症など、骨や関節の変性疾患にも集積が起こる。特に肩関節・股関節・腰

椎・坐骨結節周囲などで加齢による良性集積が頻繁に見受けられる。

臨床画像でよく遭遇するアーチファクトとして、注射液や尿による皮膚や着衣の汚染と注射漏れによる皮下滞留がある。またPET/CT融合機においては、体動・呼吸性移動・腸管蠕動などによりPET画像とCT画像の位置ずれ(misregistration)が生じる可能性がある。CTで吸収補正する機種では、義歯・心臓ペースメーカー・人工関節など体内金属による過補正アーチファクトにも注意が必要で、真の病変と区別したい場合には適宜、吸収補正をしていない画像も参照する。

PET検査前に特定の骨格筋を使う状態、いわゆるoveruseが続いていると、そこにFDGの高集積が起こってしまう。例えば、しゃべり過ぎにより口唇・舌・声帯に、PET検査への不安などにより歯を食いしばっていると咬筋に、注射痕を長く強く押さえていると母指球に、集積の亢進がみられる。前日の激しい運動による全身骨格筋への高集積は有名であり、片側反回神経麻痺の際に対側声帯への集積亢進が起こりうることも知られている。

4. 偽陰性になりやすい悪性腫瘍

依頼医のなかには、癌ならば何でもPETで陽性に見えるという、過剰な期待を持っている人がいる。しかし、以下に述べる5つの理由により、悪性腫瘍でありながら陽性にならない病変がありうるので注意が必要である。上記のGamut of FDG-PETには、偽陰性を示しやすい癌についても記載がある。

まず、空間解像度の限界がある。機器の特性や病変本来の代謝亢進の度合いにもよるが、例えば解剖学的画像で発見された直径5mm以下の微小な肺結節の良悪性をこの検査で鑑別しようとすることには無理がある。言い換えれば、陰性であっても肺癌ないし肺転移でないとは言えない。また、たとえ直径が何cmあろうとも、厚みが1mmもない表在性の皮膚癌・胃癌、あるいは嚢胞成分主体で実質部分が薄い膵癌・卵巣癌なども偽陰性になるおそれが高い。

濃度分解能の限界から、希釈によっても偽陰性が起こる。空気を多く含むすりガラス状の肺癌では、個々の腫瘍細胞がいくら強くFDGを取り込んでも画素としては平均化されて、ごく淡い集積としか見えないことがほとんどである。胃癌においては、印環細胞癌や硬癌(スキルス)が偽陰性になりやすい組織型として有名である。どちらも予後の悪い低分化癌であるが、前者では胞体内に溜まった粘液が、後者では細胞間の線維成分が腫瘍本来の高集積を希釈してしまう。

次に、病理組織学的には癌に分類されても非常に高分化で、正常組織と比較して糖代謝が亢進していないような腫瘍は、当然高集積を示さない。有名なものとしては、かつてbronchioalveolar carcinomaと呼ばれ、現在では乳頭状腺癌の亜型とされる組織型の肺癌がある。前立腺癌も通常の組織型のものは陽性率が低い。

G-6-Pase活性の高い腫瘍も陽性になりにくい。一旦細胞内に取り込まれリン酸化されたFDGが、脱リン酸反応を受けて血中に戻ってしまうからである。腎癌でもっとも多い明細胞癌や、分化度の高い肝細胞癌などがこれに該当する。

最後に、病変に隣接して強い生理的集積・排泄を示す臓器がある場合にも、紛れてしまい検出できない。例えば、灰白質に強い取り込みがあるため、脳腫瘍は陽性描画されにくい。また尿管・膀胱・尿道の腫瘍も尿中に排泄されたFDGとの区別が困難である。

上述の腫瘍の性状に由来する偽陰性所見に加え、高血糖状態で検査した場合にも腫瘍本来の代謝亢進状態に比べ、集積は相対的に弱くなってしまう。

関連して、metabolic stunningについて述べる。これは、悪性腫瘍細胞が治療により代謝が一旦低下するものの、死滅には至らない状態を指し、PETでは偽陰性の原因となりうる。化学療法の効果判定ないし残存病変検索においては、抗癌剤の最終投与から少なくとも2週間、推奨では3週間以上経ってから検査を行なわないと、活動性の残っている癌病変を「治った」と誤解して、治療を切り上げてしまう結果になりかねない。

5. SUVについて

Standardized uptake value(SUV)とは、投与された放射性医薬品が体外に排泄されることなく均一に分布したと仮定した状態を1とし、ある関心領域内の高集積箇所がその何倍強く取り込んでいるかを計算した半定量値である。SUV算定のためには投与されたFDGの総放射能量と、被検者の体重を知る必要がある。SUVが大きいほど局所の糖代謝が盛んであることを示唆し、例えば同じリンパ腫であってもどの程度の悪性度かをおおまかに推定するなど、病変の性質を評価する際に役立つ。ただし、繰り返し述べているようにFDG集積は悪性腫瘍に特異的ではなく、時には良性疾患で強い取り込みを示す場合がある。逆に、上記4.に述べたいろいろな理由で、集積が亢進していない悪性腫瘍も多く存在する。SUVが特定のcut off値を下回っているからと言って「癌ではない」と言い切るのは間違いで、「増殖の速い悪性腫瘍は否定的」なだけである。また、小さな病変では真の代謝亢進度に比べ低値となってしまうので要注意である。呼吸性移動によっても過小評価が生じる。さらに上記4.で述べた通り、高血糖状態で検査が行なわれ

た場合にも病変本来の代謝亢進度が十分反映されず、SUVはあてにならない。撮像機器の特性によっても変化しうるので、違うメーカのPETカメラで得られたSUV同士の比較は避けるべきである。このようにさまざまな要因で変動しうる数値であるから、絶対視してふりかざさず、あくまで判断材料の一つとすべきで、「小さい割には、はっきりと描出されている」などの画像の視覚的評価も大切である。Keyes JW Jr.が1995年のJNMの総説で発した警告のとおり、使い方を誤れば“Silly Useless Value”となりかねない[2)]。

6. 読影レポートの書き方

PET検査の報告も、骨組みは他の画像診断と同様に「方法」、「所見と考察」、「結論ないし診断」に分けて記載するのが読みやすいであろう。発行から少し年月が経っているものの、書式については日本核医学会から出された「実用シンチグラムレポートの書き方」が大いに参考になる[3)]。

PET検査の方法については、その施設で決められたプロトコル（使用機種、FDGの投与量、静注から撮像までの待機時間、撮像範囲など）があるのに毎回詳細に長々と書くと、迷惑がられることがある。しかし、撮像範囲の伸延、遅延撮像の追加、体動で画質が劣化したため再撮像した場合などは、当然そのことを記述しなければならない。また、FDG投与時の血糖値は記載するほうが良い。

本体となる部分の書式は個人の好みもあるが、一般的にはまず依頼の主眼となっている病変やその転移について述べ、次いで他臓器にみられる転移以外の副次所見、生理的集積、と箇条書きにする方が読みやすいであろう。

癌の原発巣や転移疑い箇所に関しては性状把握の一助としてSUVを適宜記載するが、必要に応じて上記5.に述べた誤差要因についても言及する。また、生検で癌が確定しているのに病的集積が見当たらない場合、上記4.の偽陰性要因に関して「表在性病変のため陽性にならなかったと思われます」、「印環細胞癌や硬癌ではないか、組織型をご確認下さい」などと添えれば依頼医も納得しやすい。

副次所見は上記3.で説明した良性疾患と思われる高集積やアーチファクトによる偽陽性所見が主体となるが、時には予期せぬ重複癌の疑い病変や頻度の少ない生理的集積について記述することもありうる。

生理的集積の記述は、通常描出される臓器についての定形文を作っておいて貼り付けることが多いと思われるが、便利さに安住せず、実際の画像と乖離しないように確定前に読み返す習慣をつけたい。例えば、胃全摘後の症例の検査ではリストから胃を削除する必要があり、また腎透析を受けていて無尿の患者に「尿路排泄がみられます」は間が抜けている。

PET/CT融合機で検査した場合には、同時に撮られたCT画像も参照しながらの読影となり、CT部分の所見も適宜記述することになる。その際注意すべきは、考察や結論がPETとCTのどちらの検査の所見を根拠にしているか（あるいは両者総合した判断か）の区別が読み手にわかるように書くことである。

参考文献
1）御前 隆, 石津 浩一, 石守 崇好, 工藤 崇, 中本 裕士, 東 達也, 細野 眞. Gamut of FDG-PET. 核医学2012; 49: 357-389.
2）Keyes JW Jr. SUV: Standard uptake or silly useless value? J Nucl Med 1995; 36: 1836-1839.
3）日本核医学会編. 実用シンチグラムレポートの書き方. 1998; 金原出版; 東京.

PETによる頭頸部癌の診断

千葉県がんセンター 核医学診療部 戸川 貴史

1. 原発巣へのFDG集積

頭頸部腫瘍は肉眼的あるいは内視鏡的に観察しやすく触診可能な部位に発生することから、腫瘍そのものの他覚的評価は他部位に発生する腫瘍に比べ得られやすい特徴がある。

また頭頸部腫瘍は、その発生部位から上咽頭、中咽頭、下咽頭、喉頭、鼻腔、口腔、舌などの表層上皮から発生する上皮由来の腫瘍、および甲状腺、唾液腺の腫瘍に大別することができる。これらの組織型は甲状腺、唾液腺以外では扁平上皮癌がほとんどであり、通常、扁平上皮癌へのFDG集積は良好であることから、頭頸部腫瘍におけるPETの臨床的有用性は高いと考えられる。特にPETによる治療前後の原発巣の活動性の評価や進展範囲の診断は重要である。これに対し甲状腺癌では乳頭癌、濾胞癌が主要な組織型であり、FDG集積は良好であるが甲状腺の良性腫瘍でもFDG集積を示すものがあり、FDG集積陽性の甲状腺腫瘍には良性と悪性の両者が混在する。一方、唾液腺に発生する腫瘍も組織型が極めて多彩であることから、FDG集積は腫瘍の組織型により異なっている。ワルチン腫瘍や多形腺腫は良性であるがFDG集積が強い。すなわち、FDGは悪性腫瘍以外でも集積を示すことから、FDG集積の有無のみから、頭頸部腫瘍の良悪性を鑑別する事は必ずしも容易ではない。したがって、頭頸部腫瘍では原発巣に関して組織学的に悪性と診断がなされている腫瘍において、病巣の進展範囲の診断あるいはFDG集積度の定量的指標であるSUV（standardized uptake value）を用い活動性の評価にPETが用いられる機会が多い。

2. 転移・再発巣へのFDG集積

頭頸部腫瘍における術前の頸部リンパ節転移の評価には、その解剖学的な特徴からまず触診、超音波検査が行われる。また超音波検査下での経皮的針生検によって病巣から容易に細胞診的あるいは組織学的に病理診断を確定することができる。したがってPET/CTではこれらの検査によっても転移と判定しにくい病巣、すなわち細胞診のみでは「癌」と確定できない場合、あるいは深部に病巣が存在し経皮的アプローチが容易でない場合に有用であると考えられる。例えば下咽頭癌では、高頻度に傍咽頭腔リンパ節（ルビエールリンパ節）に転移を来たすが、この部位からの組織採取は容易ではなく、PET/CTが転移の有無の判定に果たす役割は大きい。従来の画像診断法にPET/CTを加えることによって新たな転移が検出されTNM分類が変更され病期が修正されることもしばしば観察される。しかし、リンパ節の組織レベルでの微小な転移巣の検出はPETを用いても困難であり診断可能なリンパ節転移のサイズには限界がある。

術後再発においても同様であり、従来の画像診断・組織診断では診断が確定しない場合にPET/CTが有用と思われる。しかし、FDGは腫瘍にのみ特異的に集積する薬剤ではなく炎症巣にも集積することから化学放射線治療後の粘膜炎にもFDGが集積し腫瘍再発・残存との鑑別には注意を要する。

甲状腺癌全摘術後の転移・再発の検出には、通常、分化型甲状腺癌がヨウ素を摂取することから放射性ヨウ素による全身シンチグラフィが用いられる。しかし血清サイログロブリン値が高値で再発が疑われるにもかかわらず放射性ヨウ素投与後の全身シンチグラフィにて偽陰性を呈する（放射性ヨウ素が集積しない）甲状腺癌の転移巣においては、FDG集積が陽性となり放射性ヨウ素陰性例でのPETの有用性は高いと考えられている。

3. PET診断の精度と注意点

PET/CTではFDG集積部位が解剖学的にどの部位であるか同定が正確であるため、生理的集積と病的集積との鑑別が比較的容易である。しかし、頭頸部領域はPETにて生理的集積（扁桃・筋肉・唾液腺）が多いことから、これらの生理的集積に隣接する部位に発生する腫瘍集積との分離に注意を要する。特に口蓋扁桃・舌根扁桃など扁桃組織への生理的集積と、この部に発生する悪性リンパ腫や扁平上皮由来の悪性腫瘍との鑑別はしばしば困難である。筋肉への生理的集積も多い。舌の運動に伴う顎二腹筋など下顎周囲の筋への生理的集積や発声による声帯への集積はよくみられる。反回神経麻痺により対側声帯（健常側）へのFDG集積が増強する場合がある**（図1）**。また頸部の左右対称性（時には非対称性）集積の中に、リンパ節転移との鑑別上重要な集積として褐色脂肪組織へのFDG集積がある。特に若い女性では、寒冷刺激により褐色脂肪組織へのFDG集積が増強する頻度が高いので、検査前に寒冷刺激を与えないように保温に務めることが望まれる。

4. PET検査の位置づけ

悪性か良性かの鑑別よりも、組織学的に診断が確定されている頭頸部腫瘍における原発巣の広がり、活動性の評価、リンパ節転移・遠隔転移の検出、残存腫瘍・再発腫瘍の検出、治療効果判定および頭頸部腫瘍において頻度が高い重複癌の検出にPET検査が役立つと考えられる。さらに、頸部リンパ節転移を主訴とする原発不明がんの原発巣検出に

おいてもPET/CTは有用である。上咽頭、中咽頭、舌根部および梨状陥凹などにFDG集積を認め、原発巣が検出されることが多い。

参考文献

1) Cistaro A, et al. Assessment of a new ^{18}F-FDG PET/CT protocol in the staging of oral cavity carcinomas. J Nucl Med Technol 2011 Mar; 39(1): 7-13.
2) Matthews R, et al. Head and neck cancers: post-therapy changes in muscles with FDG PET-CT. Clin Nucl Med 2010 Jul; 35(7): 494-498.
3) Partridge M, et al. Technical note: 9-month repositioning accuracy for functional response assessment in head and neck chemoradiotherapy. Br J Radiol 2012 Dec; 85(1020): 1576-1580.
4) Yoo J, et al. Evidence-based guideline recommendations on the use of positron emission tomography imaging in head and neck cancer. Clin Oncol (R Coll Radiol) 2012 Sep 25; pii: S0936-6555(12)00251-8.
5) Newbold K, et al. PET/CT in radiotherapy planning for head and neck cancer. Front Oncol 2012; 2: 189.
6) Ho AS, et al. Impact of positron emission tomography/computed tomography surveillance at 12 and 24 months for detecting head and neck cancer recurrence. Cancer 2012 Dec 7; doi: 10. 1002/cncr. 27892. [Epub ahead of print]
7) Kang KW, et al. Prevalence and risk of cancer of focal thyroid incidentaloma identified by ^{18}F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography for metastasis evaluation and cancer screening in healthy subjects. J Clin Endocrinol Metab 2003; 88(9): 4100-4104.
8) Hany TF, et al. Brown adipose tissue: a factor to consider in symmetrical tracer uptake in the neck and upper chest region. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2002; 29(10): 1393-1398.
9) Nakasone Y, et al. The role of whole-body FDG-PET in preoperative assessment of tumor staging in oral cancers. Ann Nucl Med 2001; 15: 505-512.
10) Stokkel MP, et al. ^{18}F-fluorodeoxyglucose dual-head positron emission tomography as a procedure for detecting simultaneous primary tumors in cases of head and neck cancer. Cancer 1999; 86: 2370-2377.
11) Lonneux M, et al. Positron emission tomography with fluorodeoxyglucose for suspected head and neck tumor recurrence in the symptomatic patient. Laryngoscope 2000; 110: 1493-1497.
12) Regelink G, et al. Detection of unknown primary tumors and distant metastases in patients with cervical metastases: value of FDG-PET versus conventional modalities. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2002; 29: 1024-1030.
13) Bannas P, et al. Can ^{18}F-FDG-PET/CT be generally recommended in patients with differentiated thyroid carcinoma and elevated thyroglobulin levels but negative I-131 whole body scan? Ann Nucl Med 2012; 26(1): 77-85.

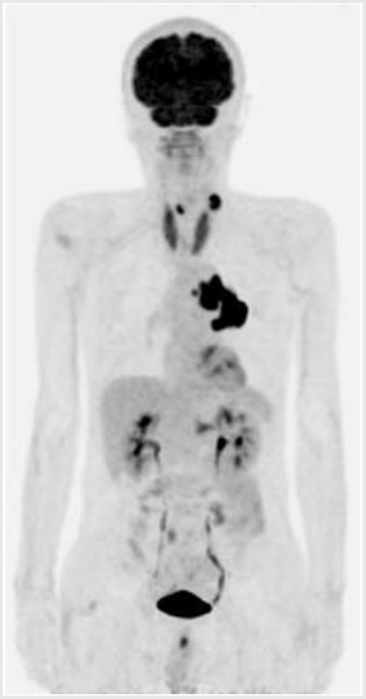


図1a　MIP画像

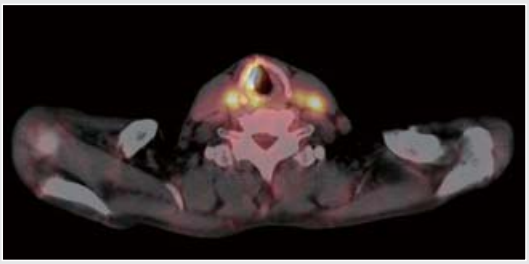


図1b　PET/CT画像

図1　反回神経麻痺により対側声帯へのFDG集積が増強した症例

左肺門部肺癌のMIP画像およびPET/CT画像。左肺門部、左頸部リンパ節へのFDG集積の他に左反回神経麻痺により、右声帯へのFDG集積亢進が観察される。

症例提示

①舌癌術後のリンパ節転移の検出（下顎骨浸潤）

68歳、男性。2011年5月より舌左縁にアフタ様変化が出現。舌腫瘍との診断で2011年7月当センター頭頸科を受診。舌癌にて2011年8月、舌左半切除術を行う。

2012年8月、術後1年にて左顎下部にしこりを触知し、経皮的針生検にて扁平上皮癌の再発と診断された。造影CTでは左顎下部に27×18mm径のリンパ節腫大を認め、腫瘍周囲が不規則に造影される。下顎骨に接しているが浸潤の有無を判定できない**（図2a）**。PET/CTでは左顎下部のリンパ節転移に高度のFDG集積を認めた**（図2b）**。FDG集積の外側では、下顎骨に集積が重複し下顎骨浸潤が疑われる所見であった。MIP画像からは、このリンパ節以外に異常集積を指摘できなかった**（図2c）**。骨シンチグラフィでは、下顎骨左に僅かな集積亢進があり**（図2d）**、骨SPECTではPET/CTにてFDG集積がみられた部位に高度の集積亢進があることから**（図2e）**、下顎骨浸潤陽性と判定された。造影CT画像からは転移再発は左顎下リンパ節1箇所のみと判定された。しかしPET/CT所見および骨シンチ所見からは下顎骨浸潤が疑われ転移リンパ節の摘出のみでは治癒が期待できないこと、さらに認知症が進行し再発部への放射線治療の適応もないことから緩和医療科受診となった。

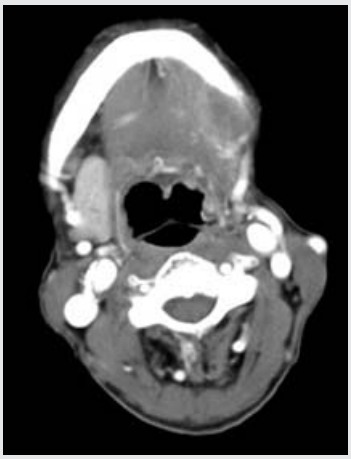


図2a　造影CT画像

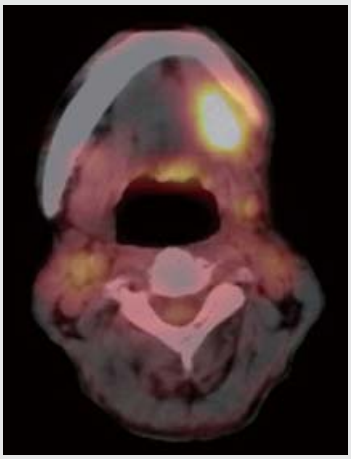


図2b　PET/CT画像

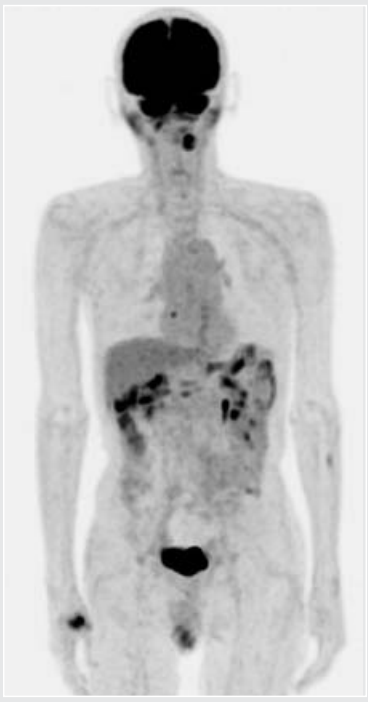


図2c　MIP画像

図2d　全身骨シンチグラム

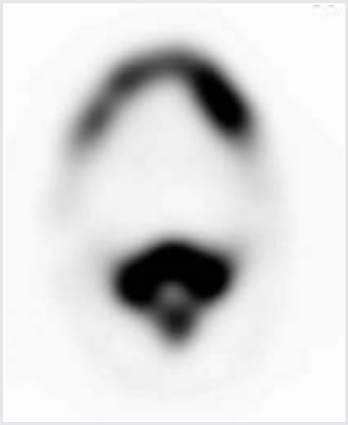


図2e　下顎骨SPECT画像

②上咽頭癌（T2N2bM0）IMRT治療後の再発巣の検出

56歳、男性。2009年1月より右の耳閉が出現。2月当センター頭頸科を受診、上咽頭右側壁、天蓋、後壁、左側壁に進展する腫瘍を認めた。生検にて扁平上皮癌と診断された。

2009年2月のPET/CTで上咽頭右優位で右傍咽頭腔から左傍咽頭腔まで高度のFDG集積（SUVmax=13.98）を認めた**（図3a）**。両側頸部リンパ節に集積亢進があり、両側上内深頸リンパ節、左中内深頸リンパ節、右下内深頸リンパ節へのFDG集積を認めた**（図3b, c, d）**。

2009年3月から5月まで68.8Gyの放射線治療（IMRT：強度変調放射線治療）を受けた。

治療1か月後のPET/CTでは上咽頭、右傍咽頭腔、右頸部リンパ節、左頸部リンパ節へのFDG集積は消失した**（図3e, f, g）**。両肺尖部に集積亢進があり、照射に伴う放射線肺炎への集積の所見であった**（図3h）**。

治療後1年9か月を経過した2011年2月、CT、MRIにて左ローゼンミュラー窩周囲に腫大があり**（図3i）**、内視鏡にて上咽頭天蓋から左側壁にかけて粘膜不正所見を認めた。ローゼンミュラー窩上咽頭天蓋から生検し扁平上皮癌の再発であった。2011年2月のPET/CTで上咽頭に高度の集積亢進（SUVmax=17.06）を認めた**（図3j）**。

治療前PET/CT画像

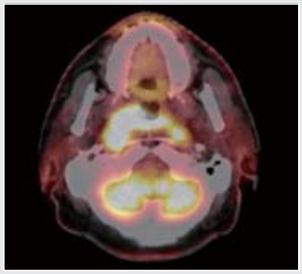


図3a

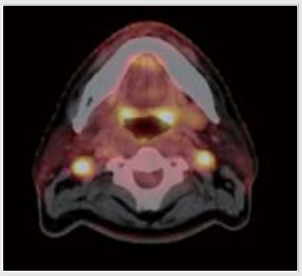


図3b

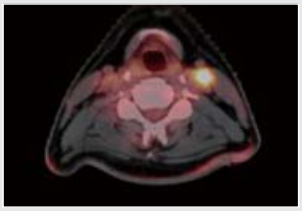


図3c

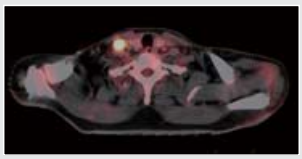


図3d

治療後PET/CT画像

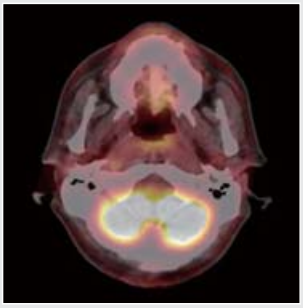


図3e

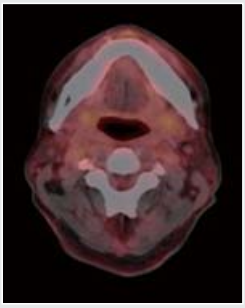


図3f

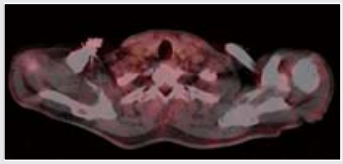


図3g

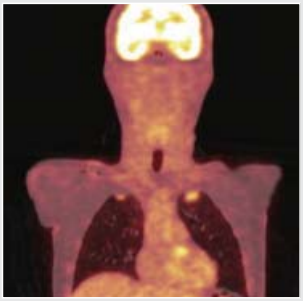


図3h
照射後の放射性肺炎へのFDG集積を稀に見ることがある。

再発時CT画像（左）PET/CT画像（右）

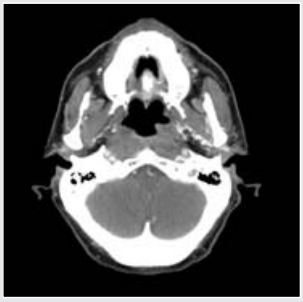


図3i

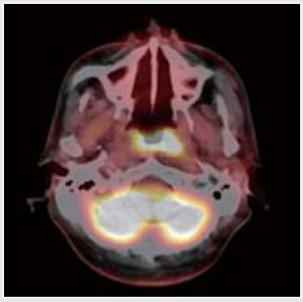


図3j

③中咽頭癌IMRT治療後の効果判定

69歳、女性。2012年3月より、喉に違和感を訴え来院。左舌根部の扁平上皮癌と診断され、2012年7月より8月までIMRTにより総線量68.8Gｙの放射線治療を受けた。

2012年6月治療前のPET/CTでは左舌根部腫瘍に一致するSUVmax=18.89の高度のFDG集積を認めた**(図4a)**。治療後、2012年10月のPET/CTでは左舌根部腫瘍は消失し、FDG集積も消失した**(図4b)**。MIP画像では、他部位にも異常集積を指摘できなかった。PET/CTは頭頸部腫瘍の放射線治療の効果判定に有用である。

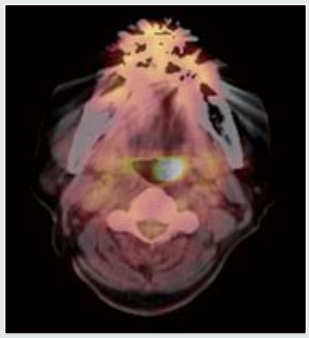


図4a　治療前PET/CT画像

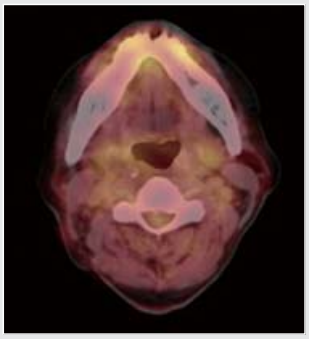


図4b　治療後PET/CT画像

④甲状腺癌術後リンパ節転移の検出

55歳、女性。甲状腺乳頭癌にて、2000年7月に、甲状腺右葉切除、右頸部郭清術を行なった。2005年1月に右鎖骨上転移が出現し、5月に右頸部郭清術を行なった。2010年3月のPET/CTでは左肺門部リンパ節腫大に一致する高度の集積亢進を認めた**(図5a)**。放射性ヨウ素111MBq投与4日後の全身シンチグラフィ**(図5b)**では、右上顎、甲状腺床および右縦隔に集積が認められたが、左肺門部には全く集積がなかった。2か月後に放射性ヨウ素3.7GBq投与による内照射療法を行ったがやはり左肺門部リンパ節へのヨード集積が全く認められなかった**(図5c)**。このようにPET/CTで指摘された再発巣とヨードシンチグラフィによる再発巣へのヨード集積はしばしば乖離する。したがって、PET/CTにて検出された甲状腺癌の転移巣へのヨード治療の適応を決める際には、必ずtracer doseの全身シンチグラフィにて、転移巣へのヨード集積の有無を確認する必要がある。

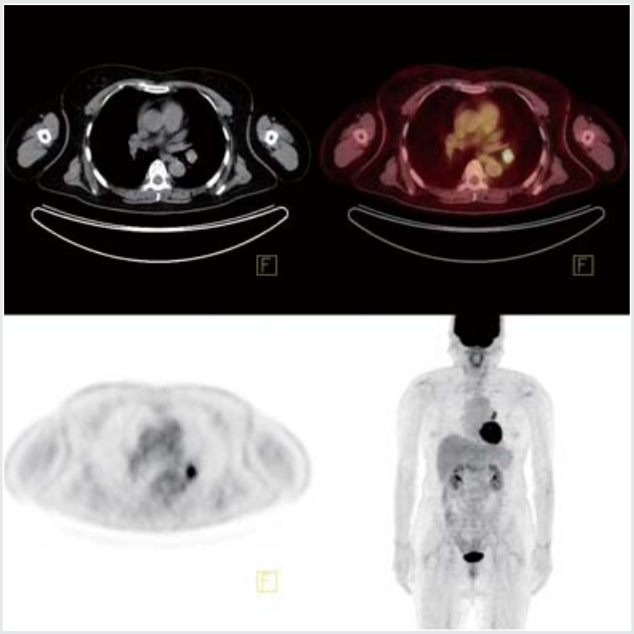


図5a　PET/CT画像

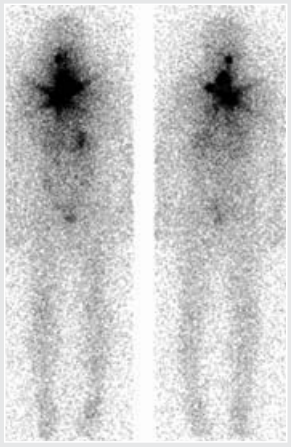


図5b　^{131}I 111MBqによる全身シンチグラム

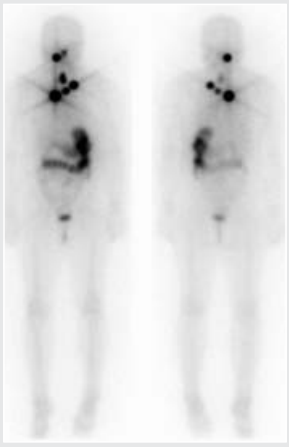


図5c　^{131}I 3.7GBqによる全身シンチグラム

PETによる悪性リンパ腫の診断

宮崎大学医学部附属病院 放射線部　長町 茂樹

1. 悪性リンパ腫へのFDG集積

悪性リンパ腫の診療におけるPETの貢献は極めて大きく、有用性が数多く報告されている。悪性リンパ腫の多くは糖代謝が亢進していることから形態画像では得られない活動性の評価が可能であり、さらにPET/CTにより全身の広がりを容易に把握できる。PET/CTによる病期診断における感度、特異度はともに90%以上と報告されている[1,2]。しかし病理組織分類は複雑で多岐にわたっており、FDG集積強度は病理組織型に左右される[1]。また発生部位や治療法にもFDG集積は影響されることから、PETを効果的に利用するには以下に述べる特徴を踏まえることが必要である。

2. PET診断の精度と注意点

悪性リンパ腫はホジキンリンパ腫(Hodgkin's lymphoma：HL)と非ホジキンリンパ腫(Non-Hodgkin's lymphoma：NHL)に分類される。さらにNHLを高悪性度リンパ腫(Aggressive lymphoma)と低悪性度リンパ腫(Indolent lymphoma)に分類する場合に、HLと同様にびまん性大細胞型B細胞リンパ腫(DLBCL)等の高悪性度リンパ腫ではFDG集積が高度(FDG-avid)である[3]。これに対し低悪性度リンパ腫ではFDG集積は様々で、濾胞性リンパ腫(Follicular lymphoma：FL)やマントル細胞リンパ腫(MCL)はFDG-avid群に属するのに対して、辺縁帯リンパ腫(Marginal zone lymphoma)、MALT lymphomaではFDGが集積しない例もある[1]。

またFLやMCLはFDG-avid群に属するにも関わらず治療による生存率の改善が期待できなかったことからPETは推奨されていなかったが、近年は抗CD20抗体に放射性同位元素を標識したY-90 ibritumomab tiuxetan(Zevalin)を用いた放射免疫療法の効果や新しい抗癌剤ベンダムスチンの効果が期待できることから積極的に用いられつつある[4]。

節外病変として、脳、骨髄、消化管、肺等の臓器浸潤が問題になるが、脳や消化管は生理的集積が高くFDG-avid群でも病巣を指摘できないことがありMRI、内視鏡、消化管造影検査も必要である。骨髄浸潤の検出能はHL、NHLともに70%以上との報告がある[5,6]が、偽陰性が多く微細な浸潤の検出には骨髄生検が必要である。肺についてはPET/CT導入後に見落としは少なくなったが、診断用CTでの評価が必要である。

偽陽性にも注意が必要である。生理的集積では褐色脂肪細胞が、特に鎖骨上窩病変で問題となる[1]。活動性炎症はFDGが強く集積するものがありサルコイドーシス、関節リウマチや結核性リンパ節炎、伝染性単核症、菊池病等は常に鑑別疾患として考慮する必要がある。さらにCastleman病も悪性リンパ腫との鑑別が問題になるリンパ増殖性疾患である。なお偽陽性では無いが、頭頸部に限局する悪性リンパ腫ではしばしば頭頸部癌との鑑別が難しいことも念頭におく必要がある。また化学療法後では顆粒球コロニー刺激因子(G-CSF)の影響についても考慮する必要があり、特に骨髄浸潤症例の治療効果判定についてはG-CSFの影響の無い時期に行う必要がある。

3. PET検査の位置づけ

(1)病巣検出、生検部位決定

悪性リンパ腫は化学療法が治療の基本であるが、その内容決定には正確な病理診断が必要である。複数の病変が存在する場合に、十分な大きさの試料を確保するには、どの部位から生検を行うのが適切かを決定する上でPETは有用である[7]。

(2)病期診断

初回、2回目以後の治療にかかわらず治療方針を決定するためには正確な病期診断が必須である。診療現場では理学所見や血液検査に加えて胸部X線、腹部・骨盤部CT及び骨髄検査が行われるが、PETを病期診断に導入すると5～15%の症例でCT等により診断された病期が変更となる[8]。特に脾臓浸潤や節外臓器浸潤が検出される頻度が高い。その結果10～20%の症例で治療方針が変更されることが報告されている[8]。なおワルダイエル輪、胸腺、脾臓はリンパ組織と考えられ、節外病変ではなく節性病変と同様に扱われる。

(3)治療効果判定

治療効果判定基準として治療前のPET検査で病変のFDG集積が確認されている組織型では形態によらずFDG集積状態によって治療効果を判定する改訂国際ワークショップ基準(改訂IWC)が提唱されている[9,10]。さらに2012年度厚労省疑義解釈資料においては、悪性リンパ腫の治療効果判定にPETかPET/CTを行った場合でも転移・再発診断の目的に該当するとの見解が出されたことから、PET/CTの悪性リンパ腫における汎用性が拡大した。

HLでは85%、NHLでは40%の症例で治療後に残存腫瘤がみられる[11]。しかし治療終了後の残存腫瘤は必ずしも残存病変とは限らない。治療終了時での残存病変の診断能は、感度はCT、PETとも90～100%と差はないが、PETは治療後に残存する腫瘍細胞と瘢痕の鑑別が可能なことから、特異度はCTが5～40%に対しPETは70～100%とPETが優れている[12]。すなわち、PET陰性であれば腫瘤が残存していても待機的な経過観察が勧められる

が、陽性であれば積極的な追加治療の必要性が示唆される。

追加治療の必要性の判定のためにはPETを治療後早期に行う必要があるが、化学療法剤の投与直後は腫瘍細胞が残存していてもFDG集積は低くなるため、最後の化学療法剤が投与されてから最低3週間（できれば6～8週間）は間隔をあける必要がある（改訂IWC）。また放射線治療後の場合は化学療法と比較し、炎症性変化が強いことから8～12週間後でのPET検査が勧められる[9]。

（4）予後予測

治療中または治療終了後のPETは予後を予測する上でも重要な意義がある[13,14]。例えばHLにおいて化学療法2クール終了後のPET陰性例では、化学療法全クール終了後に92%はCRを長期間維持するが、陽性例では24.5%しかCRを維持出来ない[13]、DLBCLにおいて化学療法4サイクル時点でのPET陰性例では82%が2年間はevent-freeであるが、陽性例では25%のみevent-freeである等[14]、数多くの報告がある。これらの成績は治療法の変遷につれて、今後変化する可能性があるが、再燃が予測される患者ではSecond-lineの治療法を選択する必要性を考慮すると予後予測においてもPETから得られる情報は重要と思われる。

4. まとめ

悪性リンパ腫は全身の評価が必要となる疾患であり、PET/CTを用いることで診療方針の決定において極めて重要な情報が得られることは過去の多くの報告が示す通りである。しかし同時に多くのlimitationを併せもつ検査でもあり、特徴をしっかり踏まえた上で日常診療に役立てる必要がある。

参考文献

1）Paes FM, et al. FDG PET/CT of extranodal involvement in non-Hodgkin lymphoma and Hodgkin disease. Radiographics 2010; 30: 269-291.
2）Kwee TC, et al. Imaging in staging of malignant lymphoma: a systematic review. Blood 2008; 111: 504-516.
3）Weiler Sagie M, et al. ^{18}F-FDG avidity in lymphoma readdressed: a study of 766 patients. J Nucl Med 2010; 51: 25-30.
4）齋藤 文護，他. 画像診断に役立つ悪性リンパ腫の知識―診断と治療―. 臨床画像 2011; 27: 820-825.
5）Muslimani AA, et al. The utility of 18-F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in evaluation of bone marrow involvement by non-Hodgkin lymphoma. Am J Clin Oncol 2008; 31: 409-412.
6）Pelosi E, et al. FDG-PET in the detection of bone marrow disease in Hodgkin's disease and aggressive non-Hodgkin's lymphoma and its impact on clinical management. Q J Nucl Med Mol Imaging 2008; 52: 9-16.
7）恒光 美穂，他. FDG-PET/CTが生検部位選択に有用であった腰椎及び膵に発生した節外性悪性リンパ腫の1例. 核医学症例検討会2011; 32：17-18.
8）Baba S, et al. Impact of FDG-PET/CT in the management of lymphoma. Ann Nucl Med 2011; 25: 701-716.
9）Juweid ME, et al. Use of positron emission tomography for response assessment of lymphoma: consensus of the Imaging Subcommittee of International Harmonization Project in Lymphoma. J Clin Oncol 2007; 25: 571-578.
10）Cheson BD, et al. Revised response criteria for malignant lymphoma. J Clin Oncol 2007; 25: 579-586.
11）Kumar R, et al. Utility of fluorodeoxyglucose-PET imaging in the managementof patients with Hodgkin's and non-Hodgkin's lymphomas. Radiol Clin North Am 2004; 42: 1083-1100.
12）Zijlstra JM, et al. ^{18}F-fluoro-deoxyglucose positron emission tomography for post-treatment evaluation of malignant lymphoma: a systemic review. Haematologica 2006; 91: 522-529.
13）Zinzani PL, et al. Early interim ^{18}F-FDG PET in Hodgkin's lymphoma: evaluation on 304 patients. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2012; 39: 4-12.
14）Itti E, et al. Prognostic value of interim ^{18}F-FDG PET in patients with diffuse large B-Cell lymphoma: SUV-based assessment at 4 cycles of chemotherapy. J Nucl Med 2009; 50: 527-533.

症例提示

①DLBCLの病期診断、治療効果判定

（病歴・臨床所見・画像）

50歳代、男性。左口蓋扁桃の腫脹で耳鼻咽喉科を受診。PETでは左口蓋扁桃に加えて両側頸部、両側腋窩、鎖骨上窩、縦隔、腹部傍大動脈、両側総腸骨動脈リンパ節、脾臓、肋骨や胸骨、椎体、両側腸骨、仙骨にも病変が認められる**（図1a, 1b）**。全身化学療法後ではFDGの異常集積が消失しておりCRの状態である**（図1c）**。

（参考となる所見・考察）

典型的なDLBCLのPET画像である。本患者のように最初耳鼻咽喉科を受診する場合もしばしばあり、予想外の広がりを認めることも多く、少しでも悪性リンパ腫が疑われる場合は迷わずにPETを勧めるべきと思われる。全身評価、特にCTのみでは見落とす可能性がある骨病変評価を含めた病期診断には必須である。また標準治療後の追加治療の判断を含めた治療効果判定にも重要な情報を提供する。

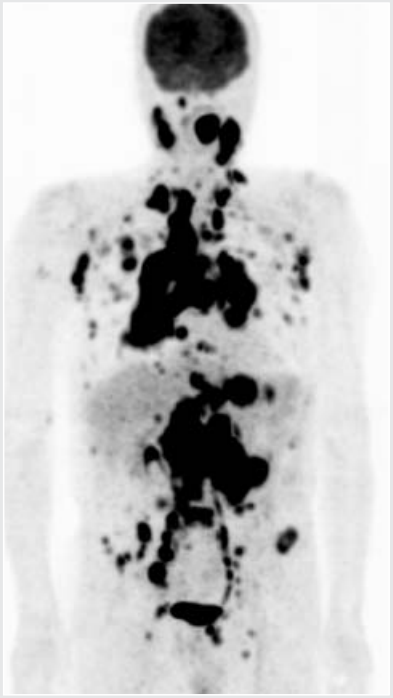


図1a　PET画像（化学療法前）

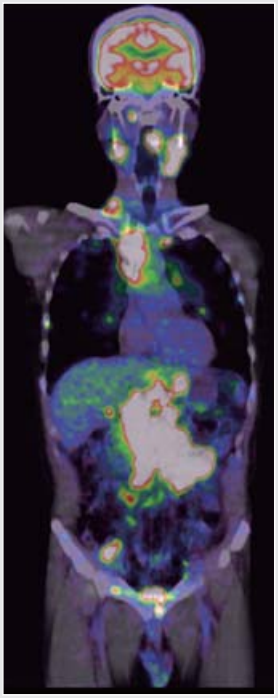


図1b　PET/CT画像（化学療法前）

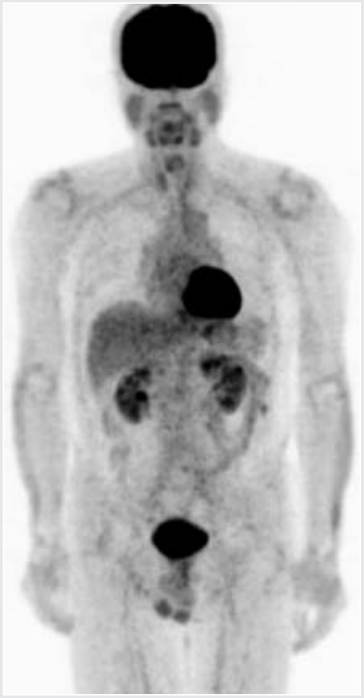


図1c　PET画像（化学療法後）

②DLBCLの病期診断、治療効果判定

（病歴・臨床所見・画像）

30歳代、女性。右肩痛で発症。CTで右上腕骨頭に強い溶骨性変化が認められる**（図2a, 2b）**。骨腫瘍を疑い生検の結果DLBCLと診断された。病期診断目的で施行したPET/CTでその他の骨、リンパ節に多発性の異常集積が認められIV期と診断された**（図2c, 2d）**。R-CHOP治療後にCRの状態となった**（図2e）**。

（参考となる所見・考察）

悪性リンパ腫が骨・軟部組織に原発病変として発生することはまれで、殆どは続発性である。多発性の場合は免疫組織学的検査でも原発性と続発性の鑑別は不可能である。画像診断上、明確な違いは無く、多くの骨病変は溶骨性変化を呈する。原発性骨腫瘍や転移性骨腫瘍との鑑別が難しい場合が多く、本症例も骨原発の悪性骨腫瘍を疑い生検した結果DLBCLと診断された。治療方針決定のため病期診断目的でPETが施行された結果、予想以上に病変の広がりがみられ適切な治療が施行された。

図2a　CT画像

図2b　CT画像

図2c　PET/CT画像（化学療法前）

図2d　PET画像（化学療法前）

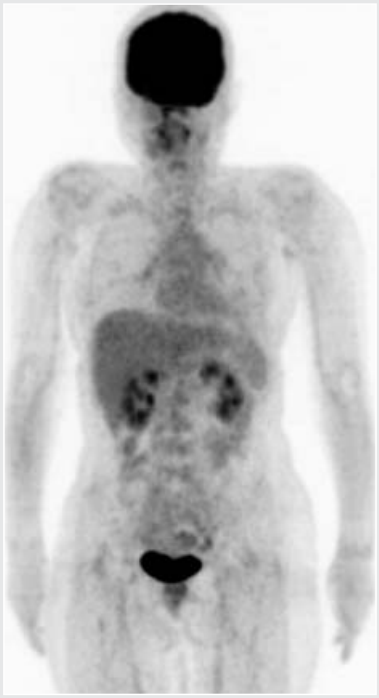


図2e　PET画像（化学療法後）

③前駆B細胞リンパ芽球性リンパ腫の病期診断、生検部位決定

（病歴・臨床所見・画像）

30歳代、女性。腰痛・歩行困難で発症。CT、MRIで第5腰椎の骨破壊、腫瘤性病変を認め（**図3a**）、骨生検を行った結果、血液系腫瘍が疑われた。正確な診断には細胞表面マーカー解析・染色体分析・遺伝子再構成等の検査を行う必要があり、多くの検体を採取することが望ましいことから、生検に適した部位を決定するためPET/CTが施行された。PETでは既知の腰椎病変以外に膵臓に異常集積を認め、腹部CTでも造影効果に乏しい膵多発腫瘤を認めた（**図3b, 3c**）。膵臓が生検部位として選択され、病理組織学的検査（**図3d**）及び免疫組織学的検査にて前駆B細胞リンパ芽球性リンパ腫（Precursor B-lymphoblastic lymphoma：B-LBL）と診断された。急性リンパ性白血病に準じた多剤併用化学療法が奏功し、治療後にFDGの異常集積は消失した（**図3e**）。

（参考となる所見・考察）

骨病変で発症した節外性悪性リンパ腫である。本症例の様に骨生検では脱灰による抗原性低下のため正確な免疫組織学的診断が困難な場合もしばしば経験する。この様な場合、有効な化学療法の導入のためには正確な診断が必要であるが、病期診断を兼ねた全身検索、生検部位選択目的におけるPET/CTは極めて有用な検査である。

図3a　CT/MRI画像

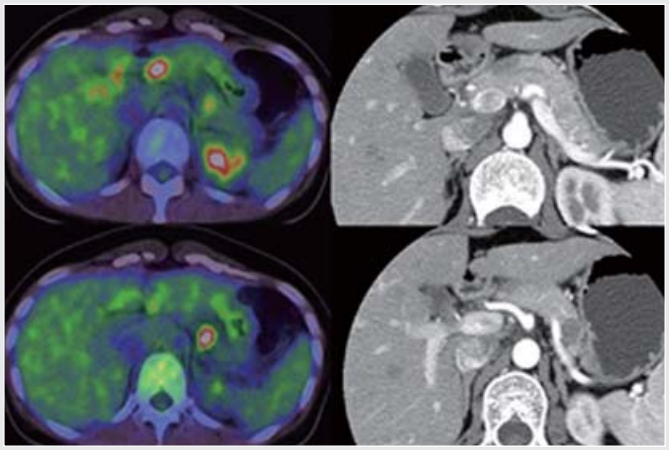


図3c　PET/CT画像と腹部CT画像（化学療法前）

図3b　PET画像（化学療法前）

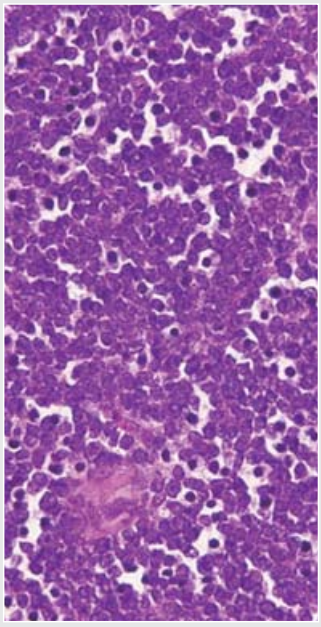


図3d　病理組織像

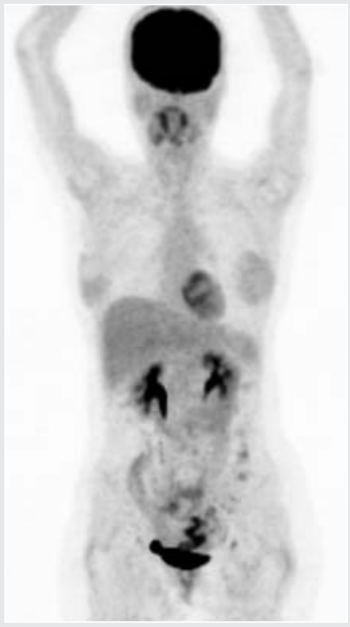


図3e　PET画像（化学療法後）

④縦隔悪性リンパ腫（DLBCL）の病期診断、治療効果判定

（病歴・臨床所見・画像）

60歳代、男性。乾性咳嗽が持続。胸部CTでは右中縦隔に充実性・均一な腫瘍病変を認める（**図4a**）。近傍に右鎖骨下動脈、腕頭動脈が走行し腫瘤内を貫通する細血管も認められが、気管内浸潤は認められない（**図4b, 4c**）。形状から悪性リンパ腫が鑑別に挙がりPETが施行された。腫瘤に一致したFDGの高度異常集積があり、集積強度も悪性リンパ腫に矛盾しない所見であった（**図4d, 4e**）。その他の領域には異常集積箇所は無く手術が施行されDLBCLと診断が確定された。半年後のPETでは残存・再発は認めない（**図4f**）。

（参考となる所見・考察）

縦隔悪性リンパ腫はしばしばみられる節外性リンパ腫の一つである。病変内部を血管が貫通する中縦隔腫瘤は特徴的であるが、FDGの集積強度も確診度を高める所見である。また、その他の領域に異常所見を認めないことの確認は追加治療の方針決定からも重要であり、PETの必要性を支持するものである。

図4a　胸部CT画像

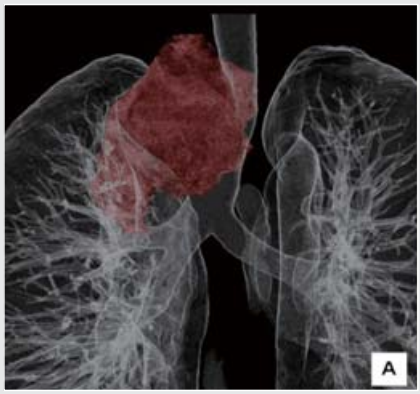


図4b　胸部CT画像

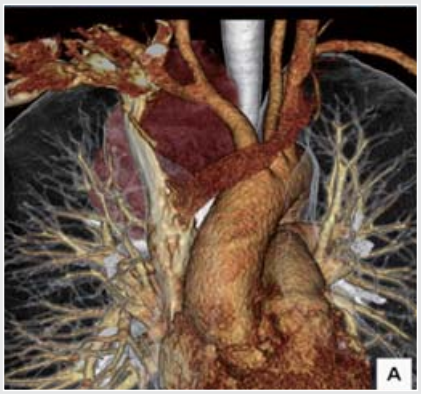


図4c　胸部CT画像

図4d　PET/CT画像

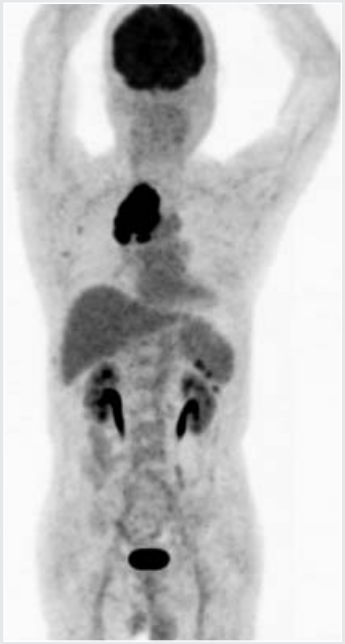


図4e　PET画像

図4f　PET画像（半年後）

⑤血管内リンパ腫の病期診断、生検部位決定

（病歴・臨床所見・画像）

60歳代、女性。意識障害で発症。PETでは脳、両肺、両副腎、右腎臓に異常集積が認められる**（図5a, 5b, 5c）**。皮膚病変からの生検で毛細血管内、細静脈にリンパ腫細胞の増殖が認められ血管内リンパ腫（Intravascular lymphomatosis）と診断された**（図5d）**。

（参考となる所見・考察）

血管内リンパ腫は腫瘍細胞が殆ど血管のみで増殖し、臓器に腫瘤を作らないことを特徴とする病態である。分布は脳、腎、副腎、皮膚、肺、肝、骨髄などに多いとされる。本症例では集積の分布から血管内リンパ腫が疑われ皮膚病変からの生検で診断が確定した。PETの役割は病変の局在、広がりの把握と生検部位の選択である。予後不良の症例が多いとされるが肺病変のみの場合は化学療法の効果がよいとされるため全身評価のためのPETは有用である。

図5a　PET画像

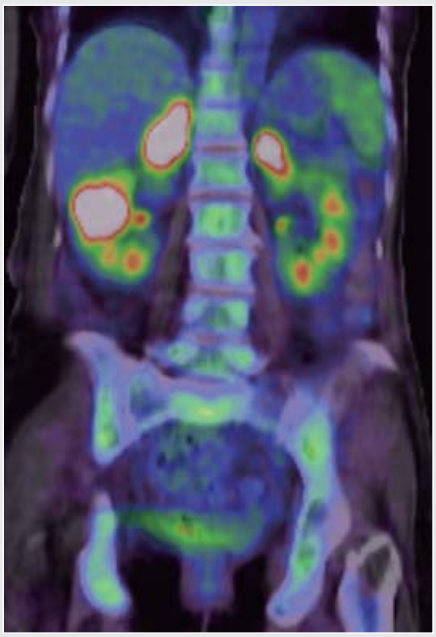


図5b　PET/CT画像

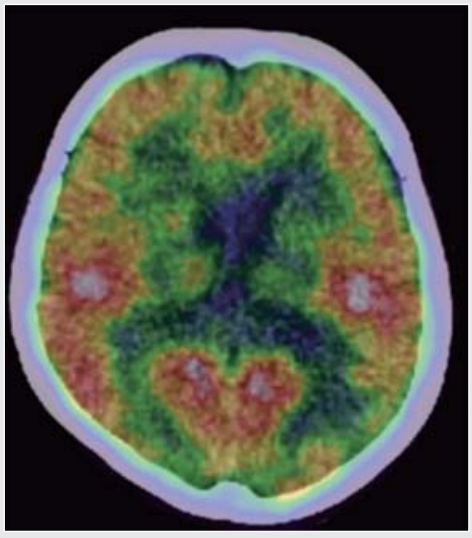


図5c　PET/CT画像

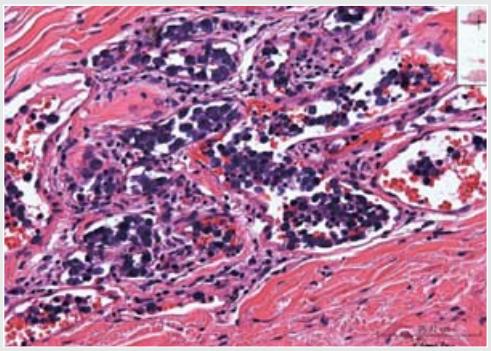


図5d　病理組織像

⑥成人T細胞白血病/リンパ腫の全身皮膚病変の分布、病勢の評価

（病歴・臨床所見・画像）

くすぶり型のATLL（成人T細胞白血病/リンパ腫）の経過中に全身皮疹の増大、全身リンパ節腫大が出現した。またsIL-2Rおよび血清カルシウムの増加が認められた。ATLLの急性転化が疑われ、PETによる全身検索が行われた。全身皮膚病変およびリンパ節に一致して多発性に異常集積が認められATLLに特徴的な集積分布を示した**（図6a, 6b）**。

（参考となる所見・考察）

ATLLはHTLV-1（ヒトT細胞白血病ウイルス1型）感染者におこる白血病・リンパ腫であり、HTLV-1感染者の多い九州・沖縄地方でしばしばみられる皮膚病変、高カルシウム血症を特徴とする疾患である。急性型、慢性型、くすぶり型、リンパ腫型、急性転化型に分類される。PETが全身皮膚病変の分布、病勢の評価に有用である。特に皮膚病変が高度な症例では血清カルシウム及びsIL-2R値の高い傾向がみられ、その病勢を判断する有用な指標となりうる。本例の様にくすぶり型が急性転化する場合もあり、早急なPETによる全身検索、治療が必要である。

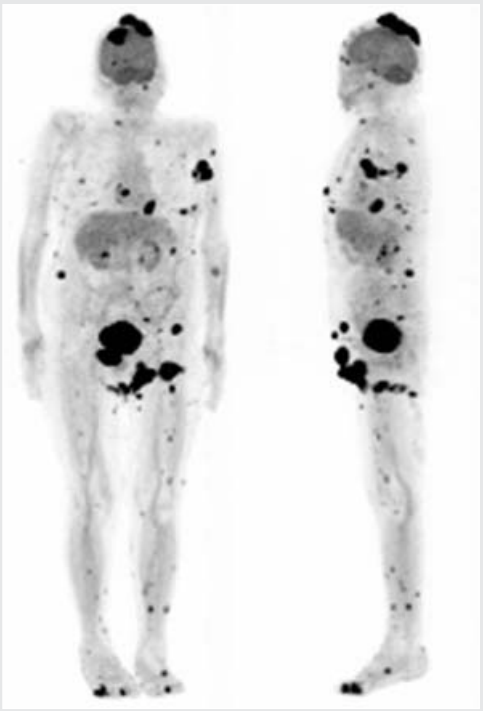


図6a　PET画像

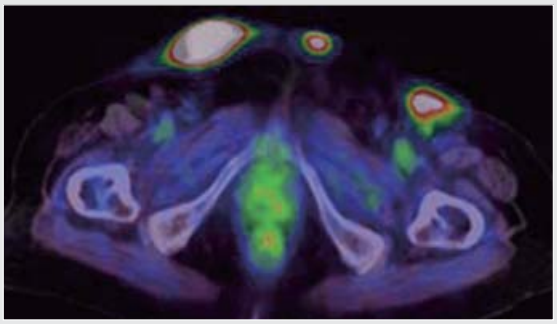


図6b　PET/CT画像

PETによる肺癌の診断

医療法人社団浅ノ川 浅ノ川総合病院 PET-CT画像センター　東 光太郎

1. 原発巣へのFDG集積

肺癌診療ガイドライン2012年版[1]によると、胸部X線CTで検出可能な肺悪性結節のPETによる検出感度は約70%であり、直径10mm未満や細気管支肺胞上皮癌(BAC)、カルチノイド腫瘍の一部のような低い組織学的gradeの肺悪性結節はPETで偽陰性を呈しやすいことが示されている[2]。また、PETは非結核性抗酸菌症、結核、サルコイドーシス、炎症性腫瘤などの非腫瘍性疾患でも偽陽性を呈することが広く知られている。一方、肺結節の良悪性鑑別に対するPETの正診率は、メタアナリシスの結果、有意差はないもののPETが胸部X線CTよりも優れる傾向性が認められた[3]。従って、PETは肺癌検出の目的ではなく、肺癌の質的診断の補助として行うよう勧められる[1]。

肺癌原発巣へのFDG集積はいくつかの因子の影響を受ける。腫瘍サイズ、細胞密度、組織型、分化度などが因子として挙げられる。組織型については、肺腺癌は肺扁平上皮癌と比較しFDG集積が低い傾向がある。また肺腺癌では分化度によりFDG集積が異なり、高分化型肺腺癌は中～未分化型肺腺癌よりFDG集積は低い傾向がある。肺腺癌においては、FDG集積度が高いほど分化度は低く、浸潤性は高く、術後再発の頻度が上昇する。このため、肺腺癌ではFDG集積度は術後再発の予後因子とする報告が多い。しかし、肺扁平上皮癌ではFDG集積度は術後再発の予後因子とはならないとする報告があり、組織型によりFDG集積度の持つ情報が異なる可能性がある。

2. 転移・再発巣へのFDG集積

CTとPETの縦隔リンパ節診断能の比較に関しては多くの研究がすでになされているが、ほぼすべての報告において、PETはCTと比して優れているとされている。ただし、非腫瘍性リンパ節腫大はPETにおいてもしばしば偽陽性所見としてみられ、本邦での縦隔・肺門リンパ節転移における診断能は欧米での報告と比して全体に低い印象がある。また、逆に微小な転移は偽陰性となり注意を要する。PETがリンパ節転移を陽性描出するためには、リンパ節内の転移巣のサイズが4mm以上である必要がある。10mm以下のリンパ節でPETが陽性の場合には偽陽性ではなく、真陽性すなわち転移のある可能性が高い[4]。PETのみの診断では偽陽性、偽陰性が存在するので、従来の画像診断と合わせた総合的な判断が必要となる。

肺癌患者の約10%にCTなどで認識できる副腎腫大がみられると報告されているが、その2/3は良性または無症候性であることが多い。副腎転移に関してPETは高い感度および特異度を有すると報告されているが、小病変(1cm以下)では偽陰性となり得るため注意が必要である。骨転移は骨シンチによって評価されるのが一般的であった。しかし、骨シンチは感度は高いが特異度は低い。PET/CTは感度、特異度ともに骨シンチよりも高いと報告されている[5]ので、肺癌の骨転移の検出においてPET/CTは骨シンチよりも優れていると考えられる。脳転移の検出にはPETは不適切な手段である。周辺正常脳実質の高い生理的集積のために感度は低い。脳に関する病期診断の手法としては依然として造影MRIが適している。

全身を一度に検索できるPET/CTは、放射線や化学療法後、手術後の再発の評価にも威力を発揮し、特に副腎や骨、リンパ節への転移の検出においてはCTより優れるといわれている。治療後に腫瘍マーカーが上昇する場合は、PET/CTが最初に選択される検査となるであろう。

3. PET診断の精度と注意点

PETにはいくつか欠点があることにも留意すべきである。一つには形態画像に比較して空間分解能が劣るという点である。一般にPETの空間分解能は3～5mmといわれており、検出可能な腫瘍径は10mm前後と考えられている。このため、きわめて微小な悪性腫瘍は通常検出困難と考えるべきである。その他、横隔膜近傍の病変は呼吸性移動による影響で偽陰性になる場合がある。また、高分化型肺腺癌の一部では偽陰性になったり、炎症や活動性肉芽腫性病変は偽陽性になることがあり、CT所見とあわせた判定が必要である。

4. PET検査の位置づけ

肺癌の診断においてPETの有用性はほぼ確立されていると考える。しかし、いわゆるone-stop shoppingのような、PET検査のみですべての画像検査の代替が可能であるような認識は問題である。PET検査と従来の画像検査をうまく組み合わせることで効率的で効果的な診断体系を確立することが必要と考える。また、病変の大きさ、組織型、分化度、部位による偽陰性や各種肺病変による偽陽性に習熟した上で診断を行うことが重要であると考える。

参考文献
1) 肺癌診療ガイドライン2012年版
2) Lindell RM, et al. Lung cancer screening experience: a retrospective review of PET in 22 non-small cell lung carcinomas detected on screening chest CT in a high-risk population. AJR Am J Roentgenol 2005; 185: 126-131.
3) Cronin P, et al. Solitary pulmonary nodules: meta-analytic comparison of cross-sectional imaging modalities for diagnosis of malignancy. Radiology 2008; 246: 772-782.
4) Nomori H, et al. The size of metastatic foci and lymph nodes yielding false-negative and false-positive lymph node staging with positron emission tomography in patients with lung cancer. J Thorac Cardiovasc Surg 2004; 127: 1087-1092.
5) Qu X, et al. A meta-analysis of ^{18}FDG-PET-CT, ^{18}FDG-PET, MRI and bone scintigraphy for diagnosis of bone metastases in patients with lung cancer. Eur J Radiol 2012; 81: 1007-1015.

症例提示

①肺癌の縦隔リンパ節転移

患者背景：60歳代、男性。右肺癌の病期診断のためPETを施行。

PET画像：肺癌原発巣以外に縦隔リンパ節にFDG集積を認める**(図1a)**。

参考となる他の画像：造影CTで気管前リンパ節の軽度腫大を認める**(図1b)**。

最終診断と考察：右肺癌および縦隔リンパ節転移。右上葉切除とリンパ節郭清が施行され、気管前リンパ節の約50%の範囲に転移が確認された**(図1c, d)**。

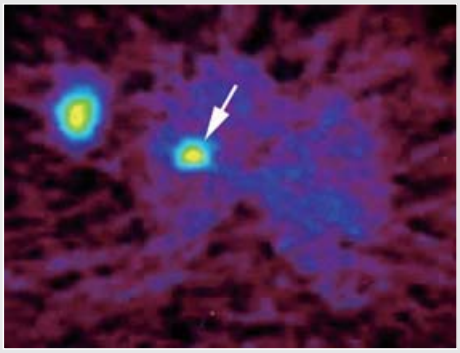


図1a　縦隔リンパ節転移のPET画像

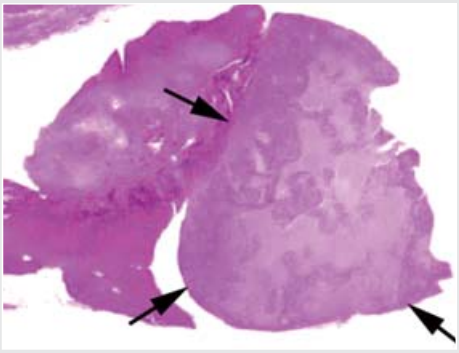


図1c　縦隔リンパ節転移の病理像

図1b　縦隔リンパ節転移の造影CT画像

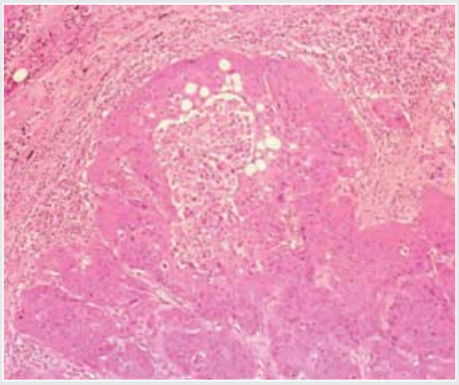


図1d　縦隔リンパ節転移の組織像

②高分化型肺腺癌

患者背景：60歳代、女性。肺癌検診で異常陰影が検出され精査。
CT画像：CTで右肺に充実性結節を認める（**図2a**）。
PET画像：PETでは結節のFDG集積は極めて淡い（**図2b**）。
最終診断と考察：手術が施行され、高分化型肺腺癌と診断された（**図2c**）。高分化型肺腺癌の一部では充実性であってもFDG集積が淡いことがあり注意を要する。

図2a　高分化型肺腺癌のCT画像

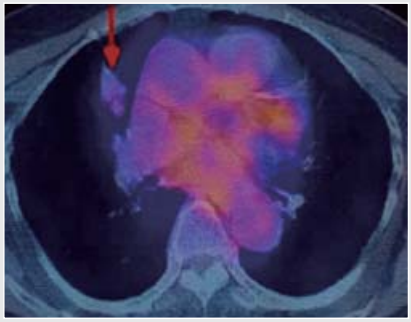


図2b　高分化型肺腺癌のPET画像

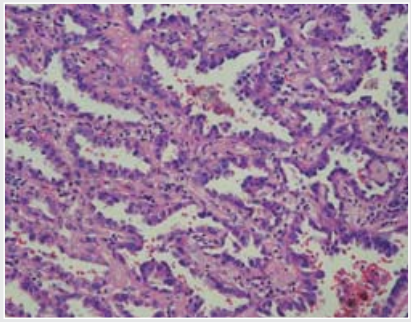


図2c　高分化型肺腺癌の組織像

③肺サルコイドーシス

患者背景：50歳代、女性。肺癌検診で異常陰影が検出され精査。
CT画像：CTで右肺に充実性結節を認める（**図3a**）。
PET画像：PETでは結節のFDG集積は極めて強い（**図3b**）。
最終診断と考察：画像診断では肺癌が強く疑われ、開胸肺生検が施行された。その結果、肺サルコイドーシスと診断された（**図3c**）。このように活動性肉芽種性病変はPETで偽陽性となり、注意を要する。

図3a　サルコイドーシスのCT画像

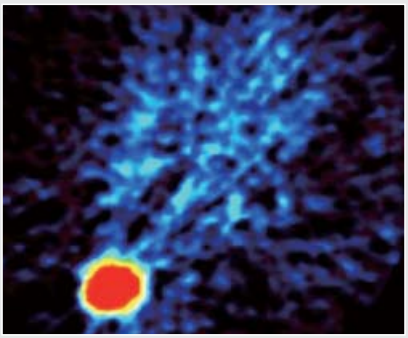


図3b　サルコイドーシスのPET画像

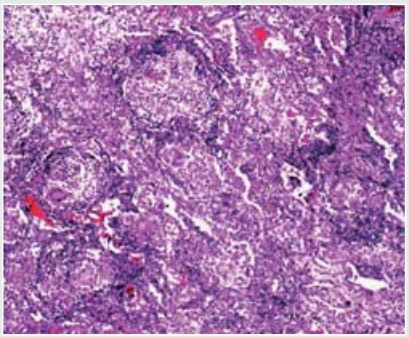


図3c　サルコイドーシスの組織像

④肺癌の病期診断

患者背景：60歳代、男性。主訴は嗄声と腰痛。
PET画像：左肺腺癌の病期診断のためPET/CT施行。MIP画像（**図4a**）。PET/CTにて、左肺癌以外に、縦隔リンパ節（**図4b**）、鎖骨上窩リンパ節、頸部リンパ節、腹部リンパ節、左副腎（**図4c**）、腰椎（**図4d**）、右腸骨、左恥骨にFDG集積を認める。心嚢液貯留部（**図4e**）にも淡いFDG集積を認める。

最終診断と考察：PET/CTにてcT2N3M1と診断した。この後、心嚢液貯留が増加し心タンポナーゼの状態となりドレナージが施行された。その際に癌性心膜炎であることが確認され、化学療法が開始された。PET/CTは、肺癌のリンパ節、骨、副腎転移の検出に優れる。また、癌性心膜炎の診断にも有用である。

図4a　MIP画像

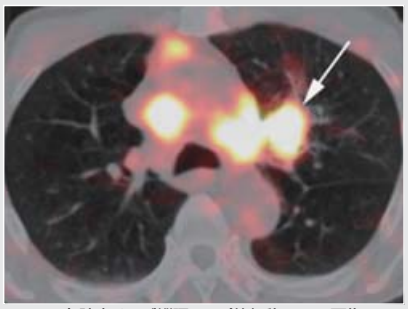


図4b　左肺癌および縦隔リンパ節転移のPET画像

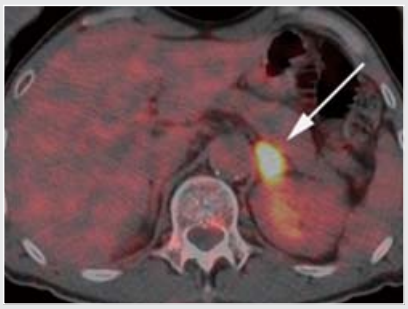


図4c　左副腎転移のPET画像

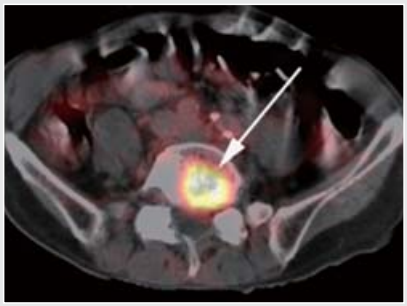


図4d　腰椎転移のPET画像

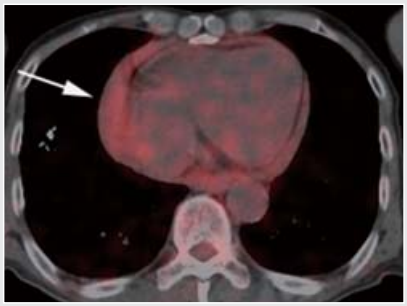


図4e　癌性心膜炎のPET画像

⑤肺癌の再発診断

患者背景：80歳代、男性。主訴は血痰。1年5か月前に左肺癌に対し定位放射線治療施行（12Gy、4回照射）。最近、放射線肺炎後の陰影が拡大。慢性腎不全で腎透析中。両側肺癌術後の既往あり。

CT画像：CT上は放射線肺炎後の高吸収域に隠され、肺癌再発は検出できない**（図5a）**。

PET画像：MIP画像**（図5b）**。左肺の放射線肺炎の高吸収域内に限局性のFDG集積**（図5c）**を認め、左肺癌の局所再発が疑われる。また、左腸骨**（図5d）**と右仙骨**（図5e）**にFDG集積を認め、骨転移が疑われる。

最終診断と考察：左肺癌局所再発および骨転移。放射線肺炎後の高吸収域内に肺癌が再発した場合、CTでは検出困難なことが多い。放射線肺炎内の肺癌局所再発の診断にはPET/CTが極めて有用である。

図5a　肺癌局所再発のCT画像

図5b　MIP画像

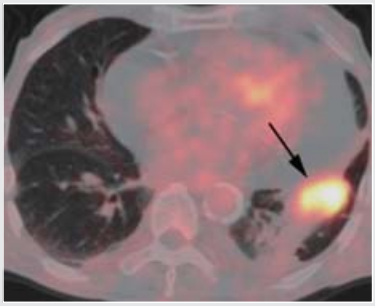


図5c　肺癌局所再発のPET画像

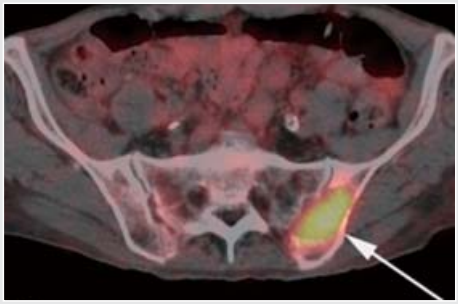


図5d　左腸骨転移のPET画像

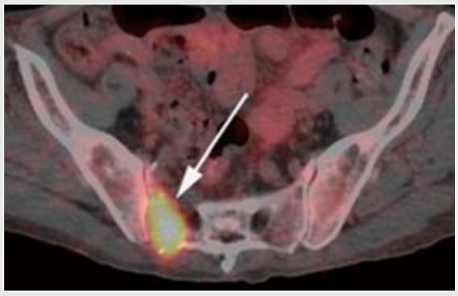


図5e　仙骨転移のPET画像

⑥肺癌および胸膜播種の治療効果判定

患者背景：60歳代、男性。主訴は労作時呼吸困難。
PET画像（治療前）：右肺尖部の肺癌。右胸水の原因究明のためPET/CT施行。MIP画像（**図6a**）。PET/CTにて、右肺尖部の肺癌（**図6b**）以外に右胸膜に沿って著明なFDG集積（**図6b, c**）を認め、右胸膜播種が疑われた。縦隔リンパ節にも集積を認めた。
PET画像（治療後）：MIP画像（**図6d**）。化学療法後、右肺尖部の肺癌（**図6e**）、右胸膜（**図6e, f**）、縦隔リンパ節のFDG集積が著明に低下した。
最終診断と考察：肺腺癌の胸膜播種。化学療法後、CEA値もほぼ正常化した。PET/CTは化学療法による治療効果を良く反映した。

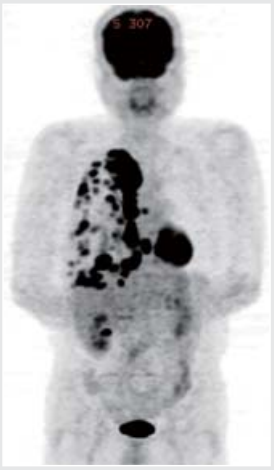


図6a　治療前MIP画像

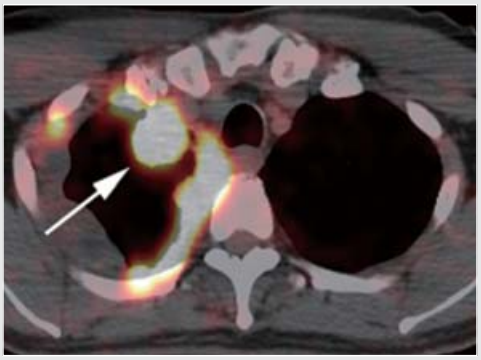


図6b　治療前PET画像（肺癌と胸膜播種）

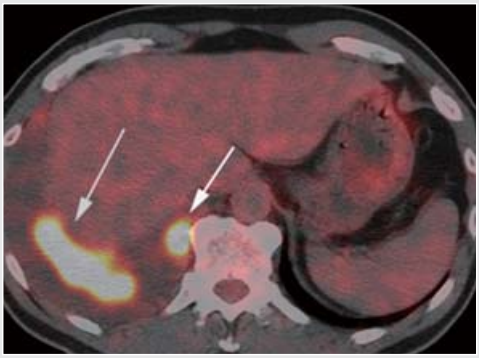


図6c　治療前PET画像（胸膜播種）

図6d　治療後MIP画像

図6e　治療後PET画像（肺癌と胸膜播種）

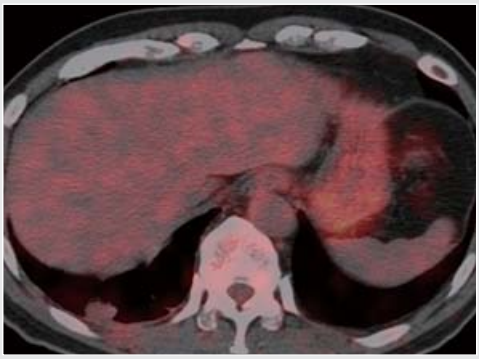


図6f　治療後PET画像（胸膜播種）

⑦肺癌と喉頭癌の重複癌

患者背景：60歳代、男性。喉頭癌の病期診断の目的でPET/CT施行。喫煙指数1200。

PET画像：MIP画像**(図7a)**。喉頭・声帯の前交連の喉頭癌にFDG集積を認める**(図7b)**。また、予期せぬ所見として右上葉気管支に小さな点状の結節**(図7c)**とFDG集積を認める**(図7d)**。

参考となる他の画像：気管支鏡検査で右上葉気管支の扁平上皮癌が発見された**(図7e)**。

最終診断と考察：肺癌と喉頭癌の重複癌。重複癌の頻度は1.53～8.5%といわれている。PET/CTは予期せぬ他臓器重複癌を非侵襲的に検出する手段として有用である。本症例では肺癌と喉頭癌はともに放射線治療で根治した。

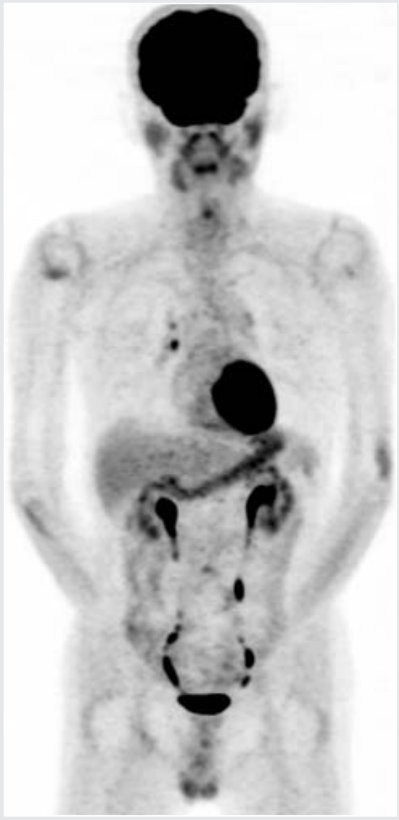


図7a　MIP画像

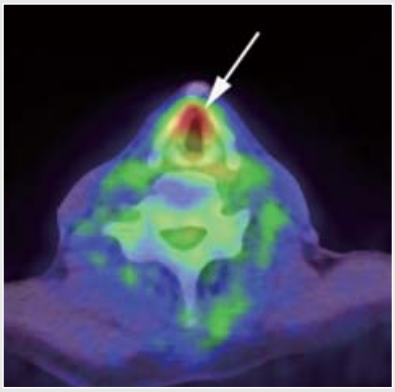


図7b　喉頭癌のPET画像

図7c　肺門型肺癌のCT画像

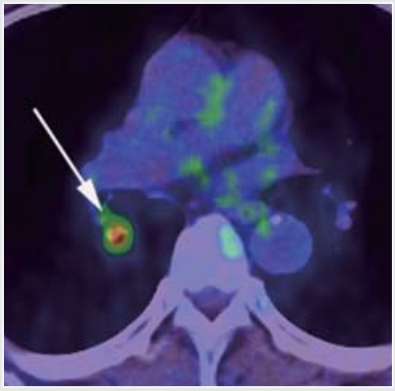


図7d　肺門型肺癌のPET画像

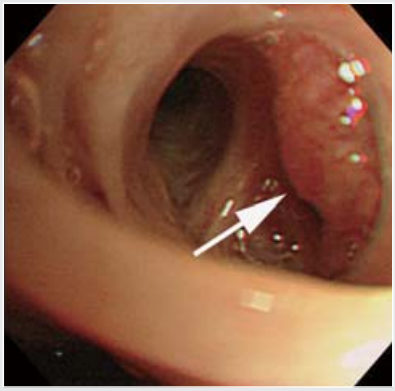


図7e　気管支鏡検査所見

⑧肺癌の放射線治療計画への応用

患者背景：70歳代、男性。右肺門型肺癌の放射線治療計画のためPET/CT施行。
CT画像：右上葉無気肺があるため、CT上は肺癌の範囲は不明である**(図8a)**。
PET画像：右肺門部から縦隔にかけFDG集積を認める**(図8b)**。
最終診断と考察：縦隔に浸潤する右肺門型肺癌。PET/CTは放射線治療計画にも応用されている。特に、無気肺を伴う肺癌の放射線治療計画に極めて有用である。

図8a　肺門型肺癌のCT画像

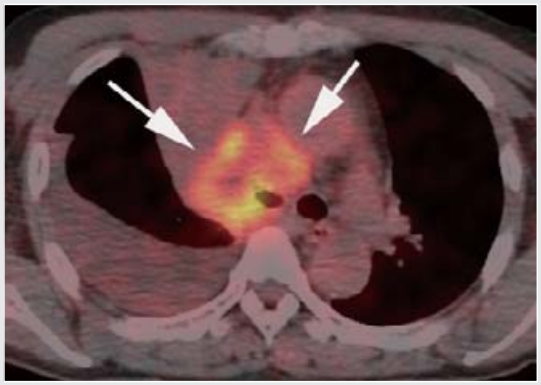


図8b　肺門型肺癌のPET画像

PETによる乳癌の診断

国際医療福祉大学三田病院 放射線科　棚田 修二

乳癌の原発巣に対するPET/CTの検出能については、感度64～96%、特異度73～100%、陽性適中率（PPV）81～100%、陰性適中率（NPV）52～89%などと、幅広い数値での報告であるが、一応、有用な画像診断法と言える。しかし、実際にはマンモグラフィ（MMG）、超音波検査（US）、磁気共鳴撮影（MRI）あるいはX線断層撮影（CT）などが中心であり、細胞診や生検が比較的容易に実施できることもあって、PET/CTの役割は限定的と考えられている。この理由として、他の悪性腫瘍の場合と同様に、乳癌の場合も病巣の大きさや組織型に依存してFDG集積が変わり、しかもその影響が比較的大きいためである。特に、病巣の大きさによって、原発巣の検出能は左右される。実際、1cm以下で悪性度が低い場合、偽陰性が多くなるとされている。また、組織型によりFDG集積にも違いがあり、一般に、浸潤性乳管癌に比べて、非浸潤性乳管癌（DCIS）、浸潤性小葉癌や粘液癌などでは、集積が低く偽陰性になる可能性が高いとされている。

一方、MMG、US、MRI、CTなどの画像は、検査範囲に限界があり、撮影野外に病変がある場合、見逃されることになる。その点、PET/CTは全身撮影という広い撮影野を持ち、病変にFDGが集積していれば、見逃すことなく指摘することが可能である。したがって、他の検査目的でPET/CTを施行した際、偶然乳癌を発見することもあるので、注意深く読影することが要求される**（症例①）**。

原発巣診断の限界と違って、転移や治療後の再発病変の診断におけるPET/CTの役割は大きいと言える。乳癌では、初回診断時、腋窩リンパ節転移の診断が重要であるが、360例を対象とした腋窩リンパ節転移の検出能は、感度61%、特異度80%、PPV 62%、NPV 79%との報告もある一方で、2cm以下のT1症例では、はるかに低い感度20～30%であることも報告されている。したがって、一般には、PET/CTが陰性であっても、センチネルリンパ節生検（SNB）は、省略できないと考えられている。逆に、特異度が比較的高いので、PET/CTが陽性であれば、SNBを省略して腋窩郭清を行うとの考えもある。鎖骨下や鎖骨上窩あるいは胸骨傍などの腋窩以外へのリンパ節転移では、PET/CTの広い撮影野が有用である**（症例②）**。胸骨傍リンパ節転移は、サイズが小さいことが多く、USやMRIでは描出は難しいこともあるが、PET/CTでは、周囲組織とのコントラストが比較的良好であり、FDGの異常集積を指摘し易い。特に後期像を撮影することで、コントラストがより明瞭になって、検出し易くなる**（症例③）**。また、胸骨傍リンパ節には、肺門リンパ節や気管周囲リンパ節などと違って、いわゆる非特異的集積を示すことは先ずなく、集積があれば異常とみなすことができるのも診断の一助となる。

進行乳癌や再発乳癌における、骨を始めとした遠隔転移について、PET/CTの検出能は、感度80～100%、特異度50～97%とされており、その役割は大きいと言える。実際、進行乳癌（ⅡB期、ⅢA期）での検討では、13%の症例でN3リンパ節転移や遠隔転移が発見され、病期が変更されたとの報告や、局所進行乳癌（T4）や炎症性乳癌の検討では、52%の症例で病期が変更されたとの報告もある**（症例④）**。

乳癌に限らず局所再発の診断については、術後の瘢痕性変化もあって、MRIやCTなどの画像診断では、造影検査を加えても、判断に困ることが多いが、FDGは瘢痕組織には殆ど集積しないので、経過観察中に、胸壁や腋窩などの局所への異常集積を認めた場合、高い確度で再発と診断できる**（症例⑤）**。ただし、その場合、感染などによる炎症性変化や直近の放射線治療の有無などを、忘れずに確認して診断することが重要である。

治療効果の判定については、現在、PET/CTは、保険診療の適応になっていないので、臨床現場では用いにくい面もあるが、その有用性は数多く報告されている。例えば、転移に対する化学療法の評価では、治療前のFDG集積に対して、初回治療終了時と2回治療終了時のFDG集積は、Responderでは平均72%と平均54%であり、Non-responderでの平均94%と平均79%に比べて、有意に低かったとの報告もある。

乳癌の画像診断は、原発巣に対しては、MMG、US、MRIなどの有用性が高く、細胞診や生検を行い易い癌でもあるため、PET/CTの役割は限定的であるが、他の画像診断にない全身撮影ができるという利点を有しているので、リンパ節転移、遠隔転移あるいは局所を含めた再発などの診断では、その有用性は高いと言える。また、治療効果の判定についても、今後保険適応が認められれば、より有効で効率的な治療の実施に繋がって行くことが予想される。さらに、分子イメージングの観点から、FDGに次ぐデリバリー可能なPET薬剤が開発、供給されるようになれば、PET/CTがより一層乳癌の診断・治療に貢献することが期待できる。

参考文献
1）Lee JH, et al. The role of radiotracer imaging in the diagnosis and management of patients with breast cancer: part 1-overview, detection, and staging. J Nucl Med 2009; 50（4）; 569-581.
2）Lee JH, et al. The role of radiotracer imaging in the diagnosis and management of patients with breast cancer: part 2-response to therapy, other indications, and future directions. J Nucl Med 2009; 50（5）; 738-748.
3）Mavi A, et al. Dual time point ^{18}F-FDG PET imaging detects breast cancer with high sensitivity and correlates well with histologic

subtypes. J Nucl Med 2006; 47(9): 1440-1446.
4) Groheux D, et al. The yield of ^{18}F-FDG PET/CT in patients with clinical stage IIA, IIB, or IIIA breast cancer: a prospective study. J Nucl Med 2011; 52(10): 1526-1534.
5) Groheux D, et al. ^{18}F-FDG PET/CT in staging patients with locally advanced or inflammatory breast cancer: comparison to conventional staging. J Nucl Med 2013; 54(1): 5-11.
6) Avril N, et al. Response to therapy in breast cancer. J Nucl Med 2009; 50(5) (suppl): 55S-63S.

症例提示

①偶然発見された乳癌

60歳代、女性。偶然発見の右乳癌。
自覚症状なし。
人間ドックでPET/CT検査を希望したため施行した。
FDG投与量：263.7MBq(4.35MBq/Kg)
血糖値：101mg/mL。
FDGの投与、約1時間後から早期像(E)を、約2時間後から後期像(D)を撮影した(他の症例も同様)。
MIP画像では**(図1a)**、正中やや右側で、肝の上方に限局性のFDG集積を認める。PET/CT画像では**(図1b)**、右乳房のB領域に、小腫瘤(径12mm)とFDG集積(SUVmax：E；5.9、D；7.2)を認め、乳癌と診断された。マンモグラフィ(MLO)では**(図1c)**、病変は撮影野外のため、描出されていない。造影MRI**(図1d)**では、右乳房のB領域に、造影効果を示す結節(径17mm)として認められる。
約2か月後に手術が行われ、浸潤性乳管癌(充実腺管癌)と診断され、リンパ節転移は認めなかった。
健診で撮影する通常のマンモグラフィでは、撮影野に入らない乳癌も、まれに存在するので、本症例のように、原発巣の診断においても、限定的ではあるが、PET/CTの有用性は認められる。

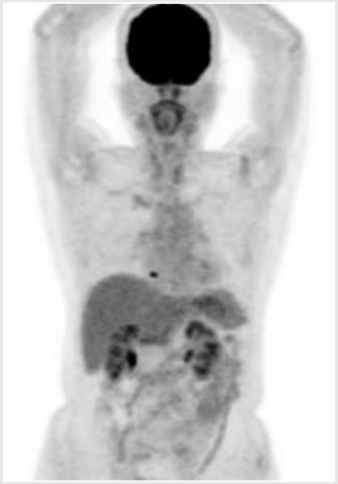


図1a　MIP画像

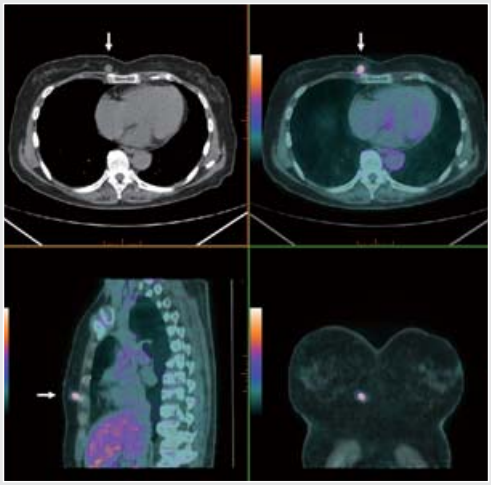


図1b　PET/CT画像

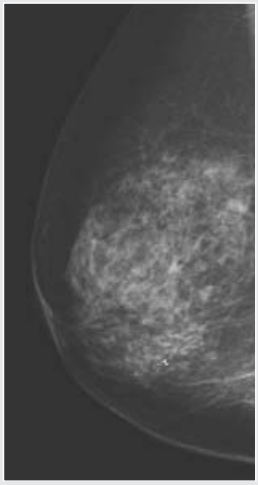


図1c　MMG(MLO)画像

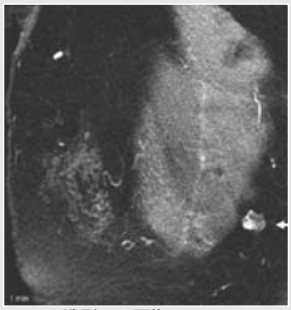


図1d　造影MRI画像

②乳癌の鎖骨上窩リンパ節転移

40歳代、女性。左乳癌術前。
左乳癌および左腋窩リンパ節転移。
病期診断目的で、PET/CT検査を施行した。
FDG投与量：303MBq（5.92MBq/Kg）
血糖値：84mg/mL。
MIP画像では**（図2a）**、乳頭付近の原発巣だけでなく、左腋窩に多発するリンパ節転移へのFDG集積に加えて、さらに離れた部位である左鎖骨上窩にもFDG集積を認め、リンパ節転移があることを示している（N3c）。PET/CT画像では**（図2b）**、原発巣（表示せず）（SUVmax：E；8.5、D；9.6）、左腋窩リンパ節転移（表示せず）（SUVmax：E；6.4、D；6.6）および左鎖骨上窩リンパ節転移（SUVmax：E；4.2、D；5.3）へ高いFDG集積を認める。造影MRIでは**（図2c）**、原発巣と左腋窩リンパ節転移は、よく造影される病変として描出されているが、左鎖骨上窩のリンパ節転移は、通常撮影野に入らないため描出されていない、また、超音波検査でも左鎖骨上窩リンパ節転移は、指摘困難であった。
術前化学療法に続いて、約6か月後に手術が施行され、浸潤性乳管癌（硬癌）と診断され、リンパ節転移の残存も認められた。
原発巣や腋窩リンパ節転移は、MRIや超音波検査で十分検索可能であるが、離れたリンパ節転移などは、撮影（検索）範囲から外れることもあるため、広い撮影野を有するPET/CTの特長が示された例である。

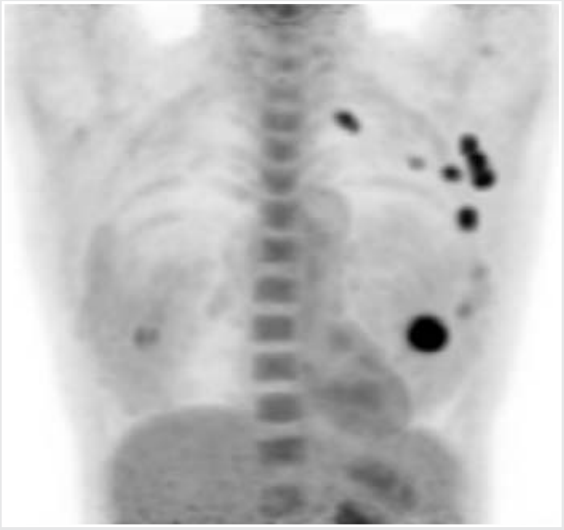


図2a　MIP画像

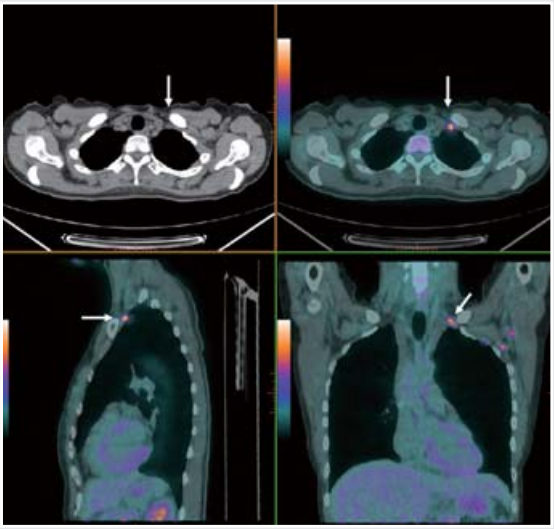


図2b　PET/CT画像

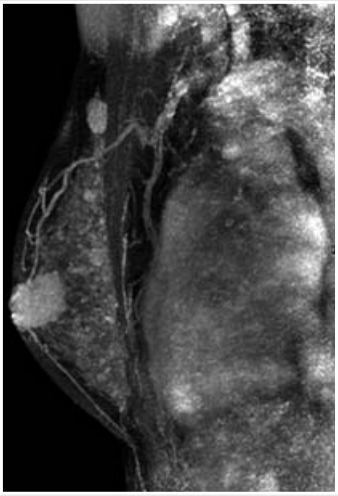


図2c　造影MRI画像

③乳癌の胸骨傍リンパ節転移

50歳代、女性。左乳癌術前。
自覚症状なし。検診で発見された乳癌。
病期診断目的で、PET/CT検査を施行した。
FDG投与量：199MBq（3.34MBq/Kg）
血糖値：84mg/mL。
MIP早期像では**（図3a）**、原発巣のみにFDG集積を認めるが、MIP後期像では**（図3b）**、原発巣だけでなく、縦隔側に小さいながらFDG集積が認められる。PET/CT画像では**（図3c）**、原発巣（表示せず）への著明なFDG集積（SUVmax：E；14.1、D；15.8）だけでなく、第1肋間で左胸骨傍リンパ節へのFDG集積（SUVmax：E；3.0、D；3.6）を認め、リンパ節転移と診断された。冠状断MRIでは**（図3d）**、第1肋間で左胸骨傍リンパ節が、低信号結節として描出されているが、PET/CTほど明瞭には示されていない。

約10日後に手術が施行され、浸潤性乳管癌（硬癌と乳頭腺管癌の成分を有する充実腺管癌）と診断され、胸骨傍リンパ節転移も確認された。
胸骨傍リンパ節転移の頻度はそれほど高くなく、サイズも小さいものが多いので、術前画像診断は簡単ではない。しかし、通常胸骨傍リンパ節へ、いわゆる非特異的集積を示すことはまれであり、PET/CTで集積を認めた場合、積極的に転移を疑って、依頼医へ報告することが重要である。また、本例は、早期像と後期像では、SUVmaxにわずかな違いしか認めなかったが、後期像では周囲組織との集積比（コントラスト）が高くなって、視認し易くなったものである。乳癌での後期像の果たす役割を示した症例であり、早期像で原発巣しか描出されない場合、積極的に後期像を撮影し、リンパ節転移の見落としを極力少なくする努力が必要である。

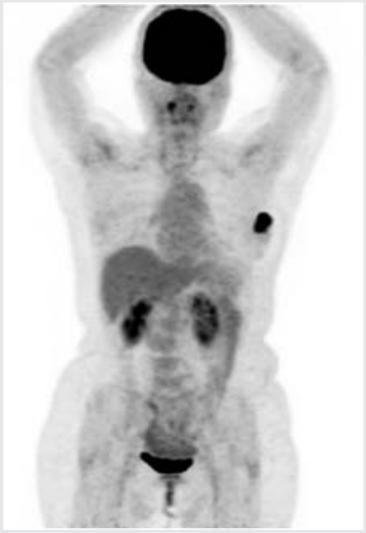


図3a　MIP早期像

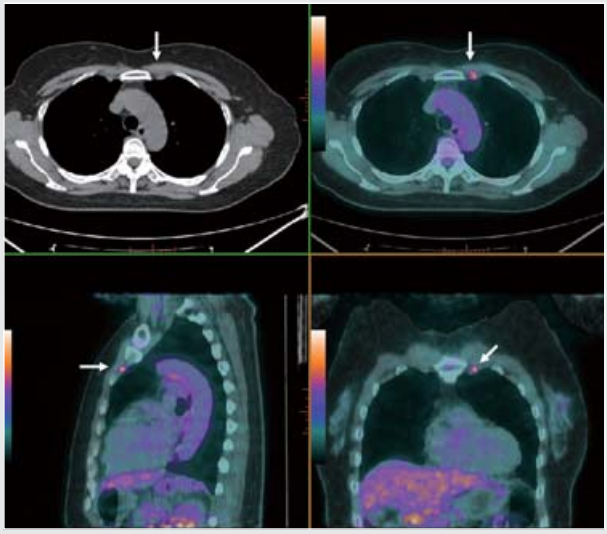


図3c　PET/CT画像

図3b　MIP後期像

図3d　冠状断MRI画像

④乳癌の骨転移

40歳代、女性。右乳癌術前。
右乳癌および右腋窩リンパ節転移。
病期診断目的で、PET/CT検査を施行した。
FDG投与量：299.2MBq（4.21MBq/Kg）
血糖値：82mg/mL。
MIP画像では**（図4a）**、原発巣と右腋窩リンパ節転移へのFDG集積だけでなく、膀胱下左側に2箇所、異常集積を認める。PET/CT画像では**（図4b, 4c）**、原発巣（表示せず）（SUVmax：E；9.8、D；11.8）、右胸筋間リンパ節（SUVmax：E；6.3、D；8.4）だけでなく、左恥骨に溶骨性変化と、2箇所に異常集積（SUVmax：E；13.3、D；14.8）を認め、左恥骨への多発骨転移と診断された。
原発巣および右腋窩リンパ節転移に対して、手術が施行され、浸潤性乳管癌（硬癌）と診断され、腋窩リンパ節転移は多発していることが判明した。骨転移については、化学療法主体で、治療が施行された。
本例では、PET/CT検査前には予想していなかった骨転移が発見され、その後の治療方針の変更などに繋がった。乳癌は骨転移を来たし易い癌の一つであり、硬化性転移が多いとされているが、溶骨性転移や両者の混合した転移も多く、転移病変にFDGが集積することは少なくない。骨シンチグラフィと異なる側面から骨転移の検出に役立つものである。

図4a　MIP画像

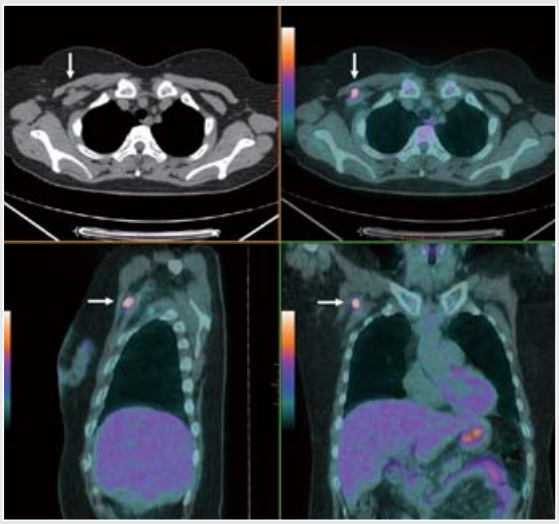


図4b　PET/CT画像（胸部）

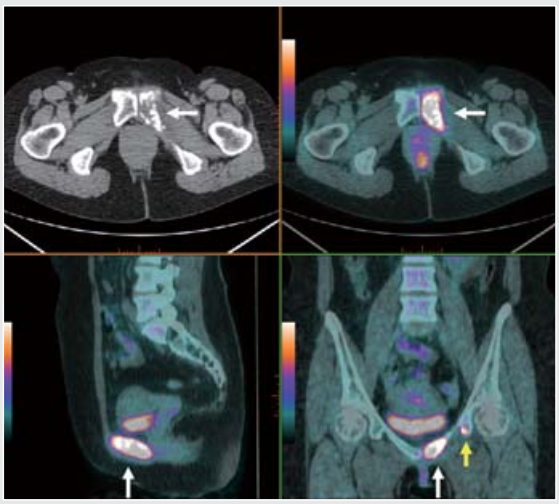


図4c　PET/CT画像（骨盤部）

⑤乳癌術後の局所再発

50歳代、女性。左乳癌術後再発。
4年前に腋窩リンパ節転移を伴う左乳癌（浸潤性乳管癌（硬癌））で手術が施行され、その後化学療法や放射線治療を受けて、経過観察されていたが、今回再発が疑われたため、PET/CT検査を施行した。
FDG投与量：247.6MBq（4.65MBq/Kg）
血糖値：71mg/mL。
術前のPET/CT（MIP画像）では**（図5a）**、原発巣へのFDG集積（SUVmax：E；4.3、D；3.9）を認めるとともに、左腋窩に相当して多発するリンパ節転移を認める。
約1.5年後に施行された経過観察のPET/CT（MIP画像と融合画像）では**（図5b, 5c）**、左胸壁や左腋窩に、術後の瘢痕性変化を認めるが、FDGの異常集積はなく、再発はないと診断された。
今回（4年後）のPET/CT（MIP画像と融合画像）では**（図5d, 5e）**、左腋窩から左前胸壁にかけて、多発するFDG集積（SUVmax：E；4.2）を認め、局所再発およびリンパ節転移の再発と診断された。
乳癌に限らず、術後の局所再発の診断は、瘢痕性変化などもあって、他の画像診断法では、判断に困ることが多いが、PET/CTでは、FDGの異常集積を認めることが多く、確実に再発診断が行うことができる。

図5a　MIP画像（術前）

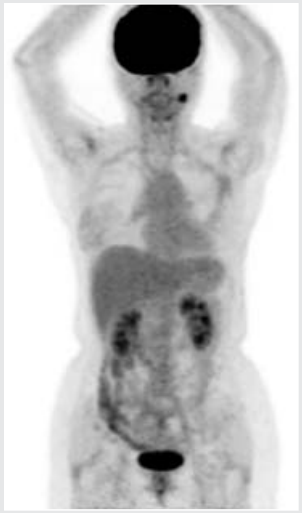


図5b　MIP画像（約1.5年後）

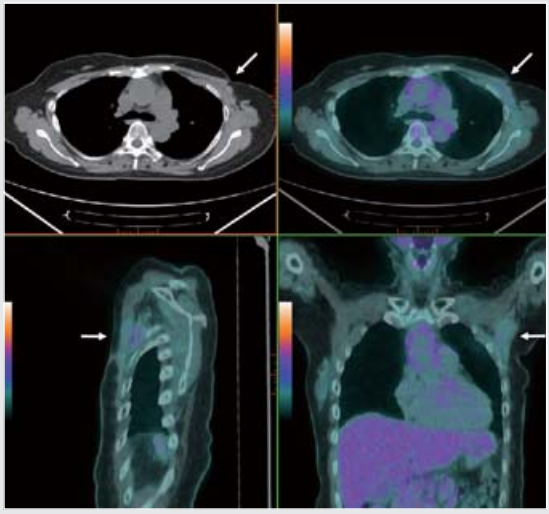


図5c　PET/CT画像（約1.5年後）

図5d　MIP画像（4年後）

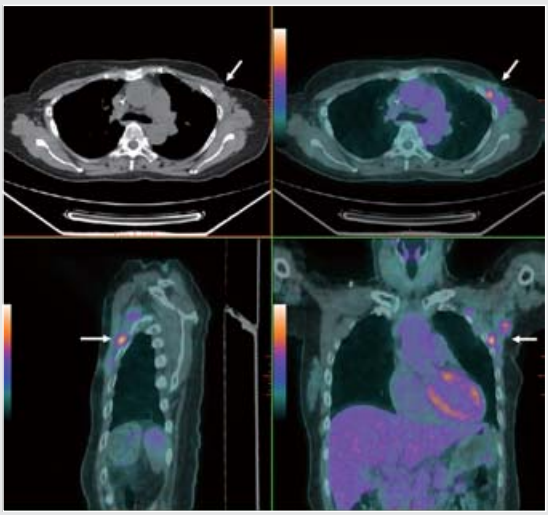


図5e　PET/CT画像（4年後）

PETによる食道癌の診断

1 国家公務員共済組合連合会虎の門病院 画像診断センター　2 同消化器外科　3 日本医科大学 放射線医学
石原 眞木子[1]、椎葉 真人[1]、宇田川 晴司[2]、石原 圭一[3]、汲田 伸一郎[3]

はじめに

食道癌は、壁深達度、リンパ節転移、遠隔転移の各診断による厳密な進行度評価に基づいて治療戦略が立てられる[1]（**図1**）。PET/CTは糖代謝と形態の画像情報を併せ持ち、一度に全身評価が可能であるため、とりわけ進行食道癌の治療前における転移巣や他臓器病巣の洗い出しに不可欠な検査となっている。さらに、PET/CTは治療後の転移再発診断、治療効果判定など、食道癌治療の各時点での有用性が示唆されている。

1. 原発巣へのFDG集積

食道は筋肉に富む臓器であるが、正常食道壁のFDG集積（以下、集積）は低い。但し、食道遠位部に逆流性食道炎などによる非腫瘍性の集積を認めることがある（**図2**）。Kato Hらは扁平上皮癌32症例の検討から、食道癌原発巣のPET描出率は腫瘍が粘膜内にとどまるT1a（M1、M2、M3）で18%、粘膜下層にとどまるT1b（SM1、SM2、SM3）で61%、固有筋層にとどまるT2（MP）で83%、外膜に浸潤するT3（AD）以深はほぼ100%と報告した[2]。

図2a　MIP画像

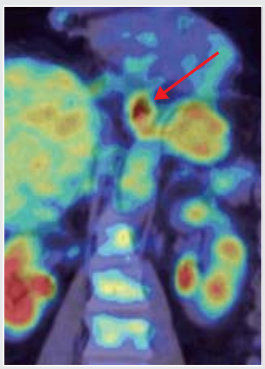


図2b　PET/CT冠状断像

図2　下部食道の非腫瘍性の集積（50歳代女性）
下部食道にSUVmax=4.1のびまん性集積（矢印）を認め、内視鏡上、裂孔ヘルニアと逆流性食道炎を認めた。

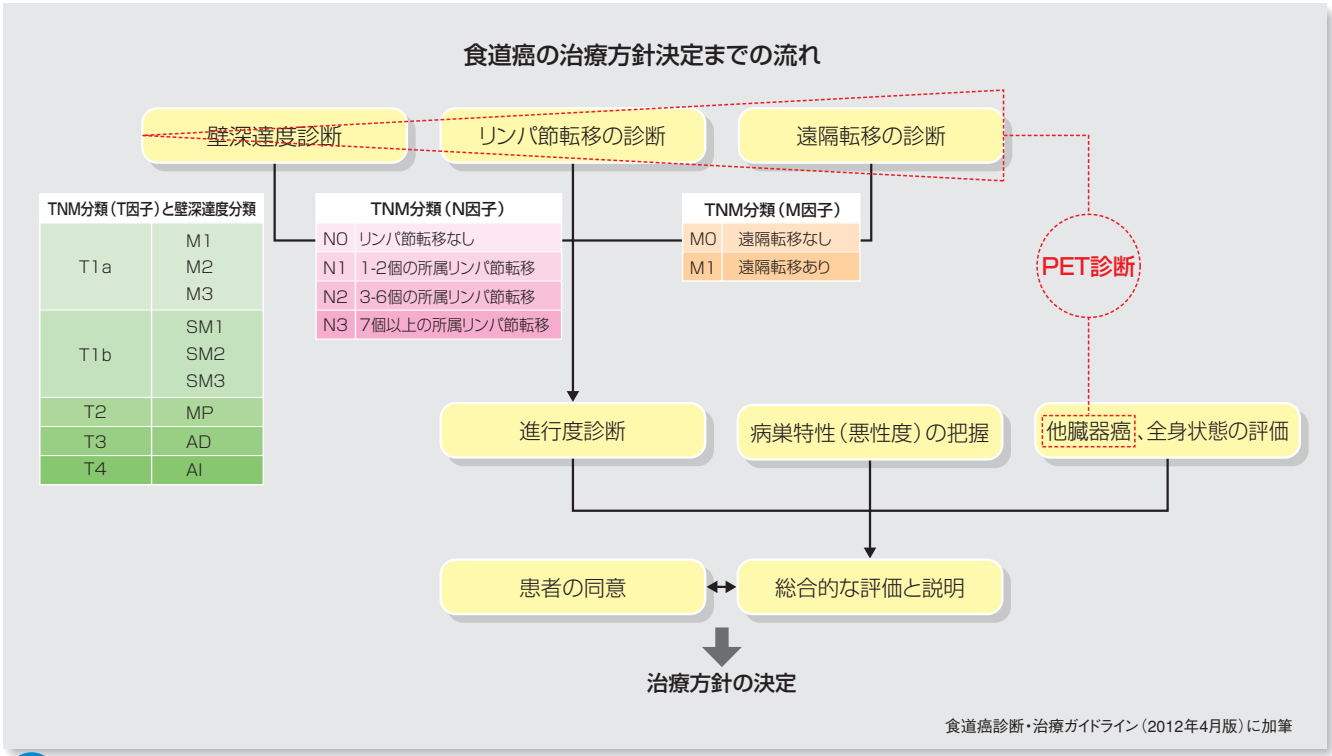


図1　食道癌の進行度評価におけるPET診断の役割
PET診断は食道癌の進行度評価の3本柱のうち、リンパ節転移と遠隔転移、特に遠隔転移診断に重要な役割を果たしており、また他臓器癌（重複癌）の検出にも有用なことがある。

我々のデータでも集積の最大値（SUVmax）と壁深達度の間に有意な相関が認められ、集積の強さは腫瘍量を反映していると考えられる**（図3、図4）**。

壁深達度診断は内視鏡と超音波内視鏡（EUS）でなされ、PETの果たす役割は低いものの、PET描出の有無によって内視鏡切除の絶対的もしくは相対的適応となるM1～SM1とSM2以深の癌を区別できるか検討したところ、感度94%、特異度100%、正診率97%と良好な結果を示し、PET抽出の有無は内視鏡治療適応の指標の一つとなるのではないかと述べた後ろ向き研究がある[3]。なお、以上のことからもPETがん検診による表在食道癌のスクリーニングは困難である。

近年、欧米では食道腺癌（EAC）が増加しているが、本邦では食道扁平上皮癌（ESCC）の92.9%に比べてEACは2.4%と少ない[1]。一般に扁平上皮癌は腺癌に比してGlut-1の発現頻度が高く高集積を示すことが知られているが、ESCCはより高分化型で、EACはより低分化型で高集積を示すという報告もあり[4]、分化度や組織型と集積の強さとの関係は、必ずしも十分解明されていない。他に粘表皮癌、顆粒細胞腫、悪性黒色腫などが稀に認められるが、いずれもPETでの報告は限られており、今後のデータの蓄積が必要である。

さらに、原発巣の集積に関する今後のテーマは治療効果判定と予後予測であろう。Omloo JMらは31の文献を引用した術前補助化学療法の治療効果判定と予後予測のレビューで、治療開始後早期の集積低下が重要な予測因子となる可能性を示唆している[5]。一方で、施設間における集積パラメーターのばらつきも指摘しており、多施設での標準化されたプロトコールの必要性を述べている。今後の検討課題であると思われる。

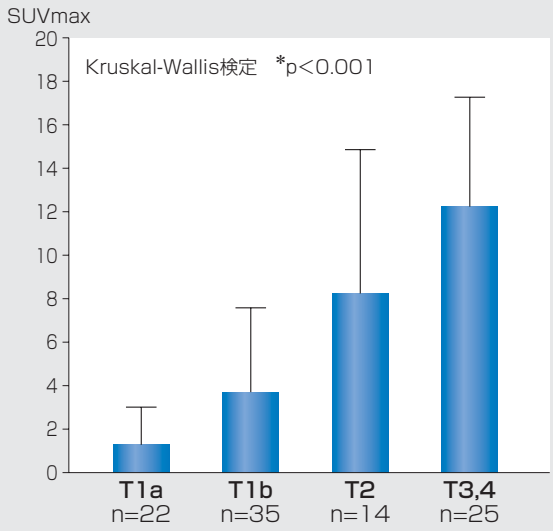


図3　壁深達度ごとの集積度（SUVmax）の比較

図4a　MIP画像

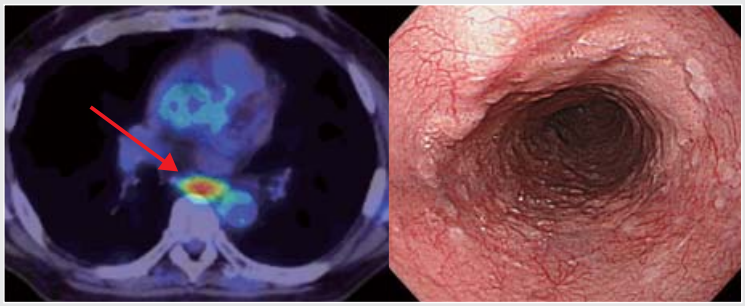


図4b　PET/CT画像（左）、内視鏡写真（右）

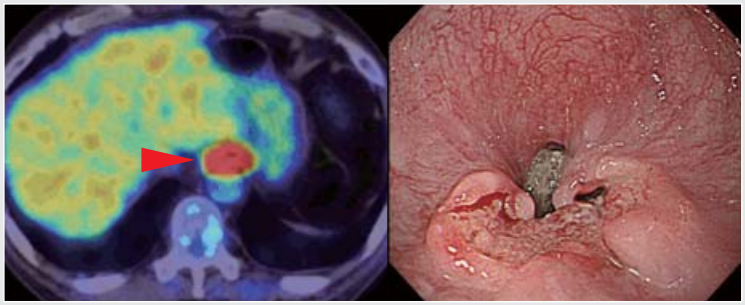


図4c　PET/CT画像（左）、内視鏡写真（右）

図4　食道多発癌（60歳代男性）

内視鏡にて、軽度隆起型の表在癌（壁深達度SM2）と、正常粘膜を介して胃側に連続浸潤し潰瘍形成を伴う進行癌（壁深達度Ad）を指摘。PETではそれぞれSUVmax=3.6（矢印）、SUVmax=10.0（矢頭）の異常集積を示し、集積の強さは壁深達度を反映していると考えられる。

2. リンパ節転移巣へのFDG集積

食道癌のリンパ節転移診断において、PETはEUSに対して感度は劣るが特異度の優れた検査として位置づけられている。領域リンパ節に関するEUS、CT、PETの診断能を比較したメタアナリシスによれば、EUS、CT、PETがそれぞれ感度(80%、50%、57%)、特異度(70%、83%、85%)であった[6]。リンパ節の集積を過少評価する要因としては、原発巣との集積分離困難、呼吸性移動による集積過小評価、micrometastasesなどが挙げられる。さらに、PET/CTによるリンパ節転移の診断能は、2006年Yuan Sらが感度93.9%、特異度92.1%とPET単独に比べて感度、特異度とも改善が見られたと報告しているが[7]、その後の諸家の報告はKato Hら感度46.0%、特異度99.4%[8]、Okada Mら感度60.0%、特異度99.5%[9]など、特に感度の結果にばらつきが目立つ。

このばらつきの背景には、通常のPETカメラの病変検出能が概ね6～7mm程度でかつ呼吸性移動などによる過小評価が加わるとさらに検出能が低下すること、すなわちPETによる病変検出能の限界と、従来から指摘されているmicrometastasesの問題がある。奥田らによる定型的リンパ節郭清を行った179例、郭清リンパ節7218個の検討では、転移のあった317個中115個(36%)は5mm以下であった[10]。また、40例1196個のリンパ節の検討でも、90.7%を占める1cm以下の摘出リンパ節について大きさと転移頻度との間には何ら関係を認めなかった[1]。PETカメラの病変検出能を考慮すると、高精細のCTで拾い上げた微小リンパ節のmicrometastasesをふるい分けることは現状では容易ではない。

近年、病変検出能を上げるブレイクスルーの技術としてTOF(time of flight)を利用した技術が開発された[12]。TOFはバックグラウンドノイズを減らし5mm以下の微小病変にも優れた検出能を有すると報告され、TOFを搭載したPET/CTの診断能への寄与が期待されている[13]**(図5)**。また、呼吸性移動による過小評価の起こりやすい胸部下部や上腹部の微小病変については、呼吸同期モードの併用も有用と思われる[14]。また、後期像を撮像すると、病変と周囲の正常組織とのコントラストが明瞭になり、より小さいリンパ節を指摘しやすくなることがある**(図6)**。

図5a　CT画像

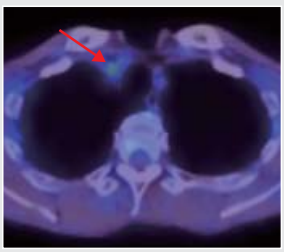


図5b　PET/CT画像

図5　TOF搭載PETによる食道癌の微小リンパ節(5mm)の描出

腕頭動脈と腕頭静脈の間の5mm大のリンパ節に淡い異常集積(SUVmax=1.8)を指摘することができる(矢印)。

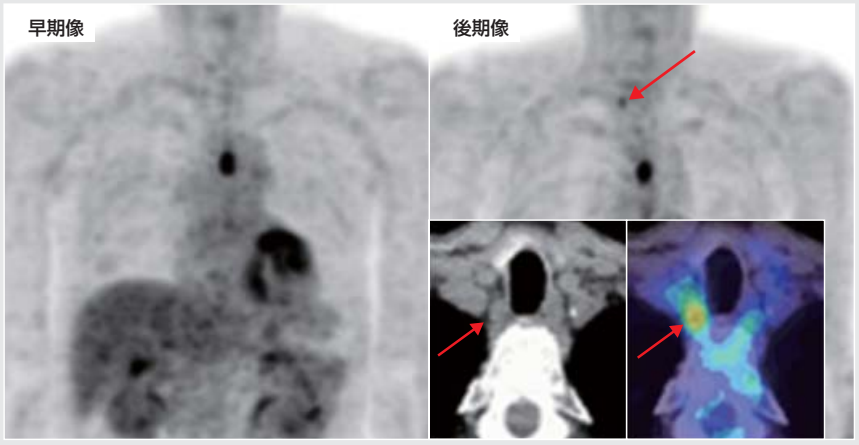


図6a　CRT前PET/CT画像

図6b　CRT後造影CT画像

図6　後期像による食道癌のリンパ節転移評価(60歳代男性)

上縦隔リンパ節(106S)に後期像でのみ顕在化する異常集積(SUVmax=3.2)を認め(矢印)、リンパ節転移と診断した。このリンパ節(8mm大)はCRT後消失した。後期像では血管プールと病巣集積のコントラストがより明瞭になりやすいためと考えられる。

3. 遠隔転移巣へのFDG集積

他の消化器癌に比べて、食道癌は早期から広範囲の遠隔転移を来しやすく、再発率も高い。また同時性、異時性合わせて18%もの重複癌を発生しうる[1]ため、治療前後の全身評価が極めて重要である**(図7)**。先述のメタアナリシスによれば、PETの遠隔転移の診断能は感度71%、特異度93%で、CTの感度52%、特異度91%よりも優れる[6]。129例の多施設研究では、PETにより41%の症例に追加病変が指摘され、38%の症例で治療方針の変更が行われた[15]。さらに、治療前食道癌200例のPET/CTを造影MD-CT、EUS、腹腔鏡を用いた専門家チームによる診断結果と比較した後ろ向き研究では、PET/CTは11%でアップステージング、7.5%でダウンステージングをもたらし、偽陽性または偽陰性は6%に過ぎなかったとしてPET/CTをステージングのルーチン検査に加えるべきでないかと述べている[16]。本邦でも食道癌診断・治療ガイドラインには2012年4月版から「術前深達度がT1bSM以深の症例では術前にFDG-PET検査を施行する事が望まれる。」という一文が追加された[1]。

図7a　MIP画像

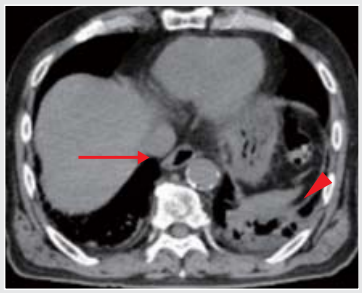


図7b　CT画像

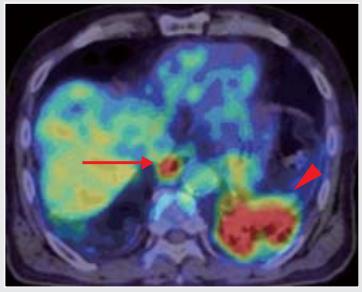


図7c　PET/CT画像

図7　同時性重複癌（70歳代男性）

検診にて下部食道癌（矢印）を発見、精査目的にてPET/CT施行。下部食道にSUVmax=8.1の異常集積を認めた。さらにPET/CT上、左下葉にSUVmax=9.9の不整な浸潤影を認め、肺癌（矢頭）も疑われた。食道は生検にて高分化型扁平上皮癌、肺は手術にて浸潤性粘液腺癌の病理診断。食道癌では、同時性または異時性に重複癌が発生しやすいことを念頭において診断することが重要である。

治療後の評価においてもPETの診断能はCTを上回り、転移臓器として多い肺、肝、骨のうち、特に骨（正診率100%）と肝（正診率98.1%）の診断に優れていたと報告されている[17]。PET、PET/CTの骨転移検索は骨シンチグラフィと比較しても特異度はほぼ同等でより優れた感度を持つため[18]、従来の骨シンチグラフィの役割はPETにとって替わられつつある**(図8)**。

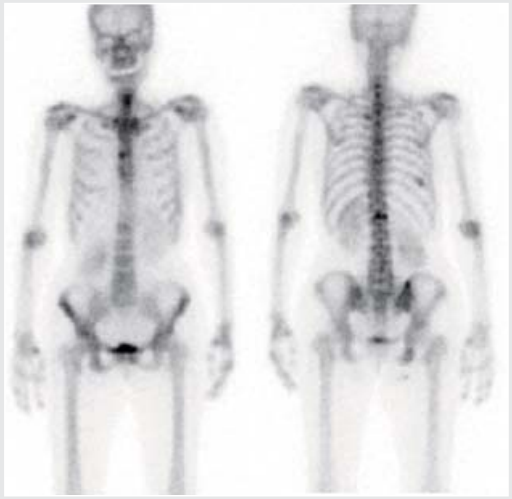


図8a　骨シンチグラフィ（プラナー像）

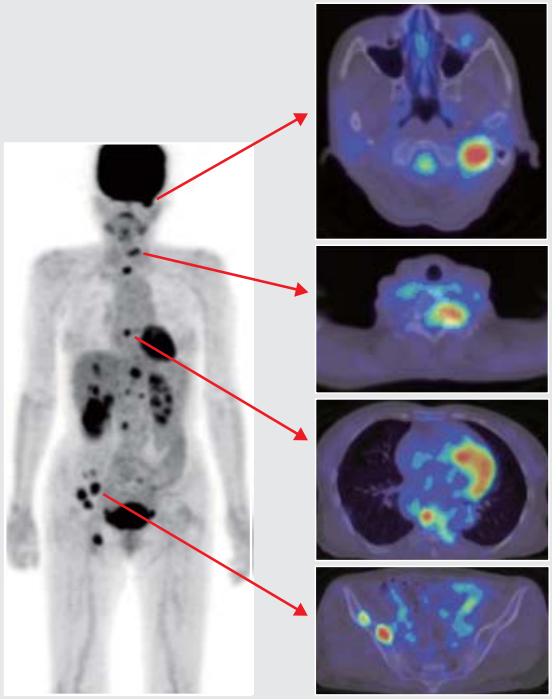


図8b　PET/CT画像

図8　食道癌多発骨転移における骨シンチグラフィとの比較（60歳代女性）

骨シンチグラフィ（プラナー像）では5〜6箇所、SPECT画像でも7箇所の病変の指摘に留まったが、PET/CTでは12箇所の骨転移巣の指摘が可能であり、かつ肝、リンパ節転移評価も可能であった。このような症例では、遠隔転移診断に果たすPET/CTの役割が大きいと考えられる。

肺転移の評価はCTが最も優れているが、PET/CTが普及した現在、CT診断も同時に行うことで一回の検査でより高い正診率を挙げることが可能となったと言える。筆者の施設では必要に応じて息止めのCTを追加している。また可能であれば呼吸同期モードによる撮像を追加すると良い。なお、胸部の偽集積として放射線治療後の炎症**(図9)**や、本邦に多い結核やサルコイドーシス等の肉芽腫性疾患が時に問題となる**(図10)**。病歴や過去画像の確認を行い、時に高分解能CT(HRCT)による評価なども併せて行うなど、慎重な診断が必要となる。

図9a　MIP画像

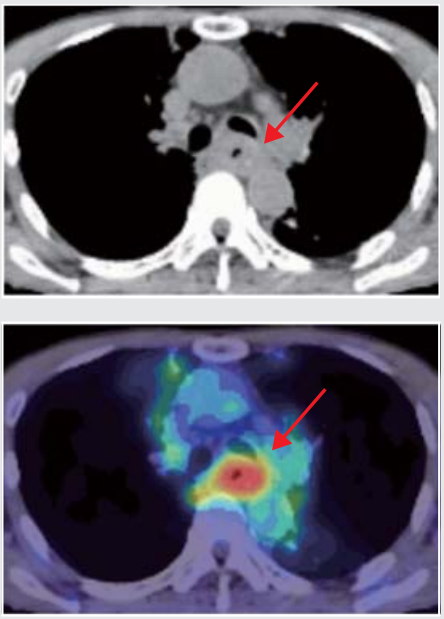


図9b　縦隔CT画像(上)、PET/CT画像(下)

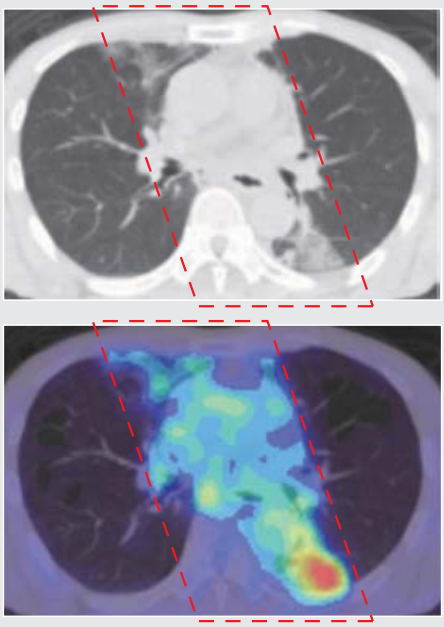


図9c　肺野CT画像(上)、PET/CT画像(下)

図9　食道癌放射線治療後の胸部の偽集積像（60歳代男性）

胸部中部食道癌(cT4N1M0)にてCRT41Gy+追加RT20Gy施行1か月後。原発巣には強い壁肥厚と異常集積(SUVmax=5.8)を認める(矢印)が病理ではviability(−)であった。また、左右肺縦隔側の照射野内(点線)には放射線肺炎による集積を認める。一般に、照射後少なくとも3か月はこうした炎症などによる偽集積が残存し、PETによる集積の評価は難しいことが多い。

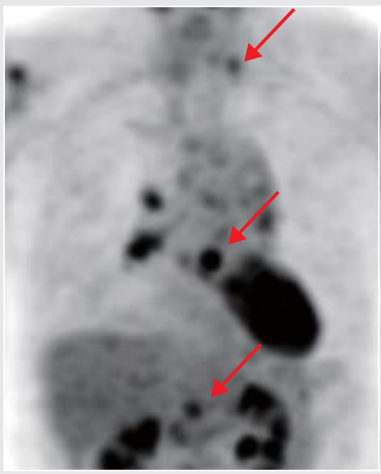


図10a　初診時PET画像

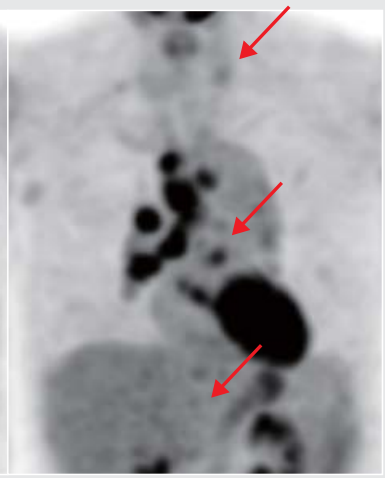


図10b　10か月後PET画像

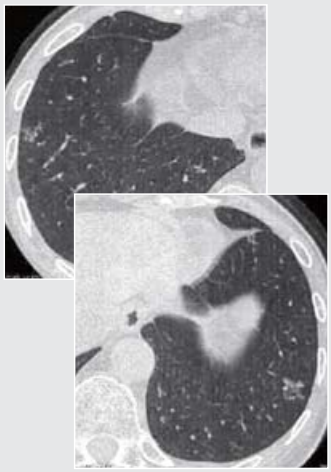


図10c　胸部HRCT画像

図10　サルコイドーシスを合併した食道癌（70歳代女性）

内視鏡にて切歯30〜33cmに深達度予測SM2の表在癌を認め、治療前評価のPET/CTにて原発巣、左鎖骨上、腹腔内、左右肺門リンパ節に異常集積を認めた。CRT施行にて原発巣と左鎖骨上、腹腔内リンパ節の集積は良好に低下するも(矢印)、肺門リンパ節は集積増加し、のちに肺野異常陰影も出現。肺、リンパ節生検にてサルコイドーシスの診断。縦隔〜肺門リンパ節の多発集積はこうした炎症性疾患の合併を見ている場合もあり、注意が必要である。

おわりに

以上、食道癌のPET診断の現状を概括した。メタアナリシスや多施設研究に基づく知見は未だPET単独を主としているが、今後益々高性能なPET/CT装置が登場するに従い、核医学とCT診断学を統合した診断が要求される。病歴や症状を確認し、2つのモダリテイーから得られる膨大な画像情報を整理し、過去画像や他の参照画像との比較を行った上で迅速に過不足なく依頼科サイドに伝えることができれば、冒頭で述べた全身評価としてのPET診断の有用性は、今後さらに高まるものと思われる。

参考文献
1) 日本食道学会編. 食道癌診断・治療ガイドライン2012年4月版. 金原出版.
2) Kato H, et al. The incremental effect of positron emission tomography on diagnostic accuracy in the initial staging of esophageal carcinoma. Cancer 2005; 103: 148-156.
3) Nakajo M, et al. Clinical significance of primary lesion FDG uptake for choice between oesophagectomy and endoscopic submucosal dissection for resectable oesophageal squamous cell carcinomas. Eur Radiol 2011; 21: 2396-2407.
4) Imperiale A, et al. Does the association of ^{18}F-FDG uptake intensity and lesion topography reveal histological phenotype and tumor differentiation in esophageal cancer? Hell J Nucl Med 2011; 14: 239-242.
5) Omloo JM, et al. FDG-PET parameters as prognostic factor in esophageal cancer patients: a review. Ann Surg Oncol 2011; 18: 3338-3352.
6) van Vliet EPM, et al. Staging investigations for oesophageal cancer: a meta-analysis. Br J Cancer 2008; 98: 547-557.
7) Yuan S, et al. Additional value of PET/CT over PET in assessment of locoregional lymph nodes in thoracic esophageal squamous cell cancer. J Nucl Med 2006; 47: 1255-1259.
8) Kato H, et al. The additional value of integrated PET/CT over PET in initial lymph node staging of esophageal cancer. Oncol Rep 2008; 20: 857-862.
9) Okada M, et al. Integrated FDG-PET/CT compared with intravenous contrast-enhanced CT for evaluation of metastatic regional lymph nodes in patients with resectable early stage esophageal cancer. Ann Nucl Med 2009; 23: 73-80.
10) 奥田 逸子, 小久保 宇, 宇田川 晴司, 他 食道癌の縦隔リンパ節転移のCT診断. 日本医学放射線学会雑誌 1997; 57: 391-394.
11) Schrödër W, et al. Lymph node staging of esophageal squamous cell carcinoma in patients with and without neoadjuvant radiochemotherapy. World J Surg 2002; 26: 584-587.
12) Conti M, et al. First experimental results of time-of-flight reconstruction on an LSO PET scanner. Phys Med Biol 2005; 50: 4507-4526.
13) 石原 圭一. TOF(time-of-flight)-PET−SNR向上による高コントラスト分解能の実現. INNERVISION 2010; 25(12): 35-39.
14) Werner MK, et al. Respiratory gating enhances imaging of pulmonary nodules and measurement of tracer uptake in FDG PET/CT. AJR Am J Roentgenol 2009; 193: 1640-1645.
15) Chatterton BE, et al. Positron emission tomography changes management and prognostic stratification in patients with oesophageal cancer: results of a multicentre prospective study. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2009; 36: 354-361.
16) Gillies RS, et al. Additional benefit of ^{18}F-fluorodeoxyglucose integrated positron emission tomography/computed tomography in the staging of oesophageal cancer. Eur Radiol 2011; 21: 274-280.
17) Teyton P, et al. Use of positron emission tomography in surgery follow-up of esophageal cancer. J Gastrointest Surg 2009; 13: 451-458.
18) Özülker T, et al. Comparison of ^{18}F-FDG-PET/CT with ^{99m}Tc-MDP bone scintigraphy for the detection of bone metastases in cancer patients. Nucl Med Commun 2010; 31: 597-603.

PETによる胃癌の診断

1 東海大学医学部消化器外科　2 東海大学医学部専門診療学系画像診断学
安田 聖栄[1]、中村 健司[1]、橋本 順[2]

はじめに

胃癌でPETはもっと活用されてよい。なぜこれまでPETが十分活用されてこなかったか理由は三通り考えられる。まずPET先進国の欧米では胃癌の頻度が低く研究・議論の対象になることが少なかったこと、また胃癌は組織型で有用性が異なることが指摘されてこなかったこと、そして再発の早期発見で予後が改善するエビデンスが乏しいことである。腫瘍PETの領域は10数年前に比べると格段に進歩した[1)]。早期胃癌を除けば保険適用の対象になる。今後もPETの技術進歩で臨床適用は拡大するであろう。症例を適切に選択すればPETは胃癌診療で役立つ。本章では胃癌でのPETの有効活用について述べた。

1. 原発巣のFDG集積

一般にPETでの腫瘍検出は、1）腫瘍体積、2）FDG集積度（SUV：Standardized Uptake Value）、3）backgroundのFDG集積度に大きく依存する。通常PETでミリ単位の腫瘍検出は困難で1cm^{3}の体積は必要である。これは部分容積効果により、長径がおよそ2.5cm以下になるとFDG集積度が過小評価されるためである[2)]。早期胃癌は陥凹型が多い。そのため腫瘍体積が小さく検出感度以下となる。しかし隆起型であれば早期癌であっても検出できる場合がある。

FDG集積度が組織型に依存することは重要な知見である**（表）**[2)]。乳頭腺癌と管状腺癌ではFDGが高集積するためPETの適応となる。一方、印環細胞癌ではFDG集積度は低い。細胞密度が低いためか癌細胞自体の特性によるかは不明で、機序解明の余地が残されている。

腫瘍（T）と背景健常組織（N）のFDG集積比（T/N比）が高いと、コントラストが明瞭となり画像評価による検出感度は高くなる。胃癌が肺転移、肝転移をきたした場合、健常肺と健常肝のSUVはそれぞれおよそ0.7、2.6であるため、肺転移と肝転移のSUVが同一であれば、T/N比は肺転移で肝転移より高くなり明瞭に描出される。胃壁自体にもFDGが様々な程度で集積（生理的集積）し[3)]、胃壁のFDG集積が高いとT/N比が低下し原発巣の検出感度は低下する。

組織型		FDG集積度
乳頭腺癌（pap）		++
管状腺癌	高分化型（tub1）	+
	中分化型（tub2）	+
低分化腺癌	充実型（por1）	+
	非充実型（por2）	−
印環細胞癌（sig）		−
粘液癌（muc）		±

表 胃癌の組織型とFDG集積度　（参考文献2より引用）

2. 転移、再発の診断

PETによる所属（領域）リンパ節転移の診断はCTと同様で限界がある。リンパ節内の小転移巣は検出できない。検出可能なリンパ節転移は腫瘍体積が1cm^{3}を超えるものであり、リンパ節自体のサイズではない。しかし腫瘍サイズが小さい場合、部分容積効果の影響を加味してSUVを解釈すれば検出感度は高くなると考えられる。

腹部大動脈周囲のリンパ節転移診断では役立つと思われる。病変が後腹膜に固定されPET検査中の呼吸性移動の影響を受けないためである。腹水中に浮遊する癌細胞は検出できない。腫瘍塊が一定のサイズでかつFDGが高集積する組織型の場合には検出できる。肺、肝、他部位の転移も、FDGが高集積する組織型で一定のサイズになれば検出できる。PETは全身の広い範囲を骨を含め一度に検索できるのが利点である。

3. PET診断での注意点

PETによる胃癌の診断では、1）組織型、2）腫瘍体積、3）炎症、4）生理的胃集積に注意が必要である。1）組織型と2）腫瘍体積は先に述べた。3）炎症はPETの特異度を下げる要因である。炎症浸潤細胞の好中球、マクロファージは糖代謝が高くFDGが高集積する。転移リンパ節とリンパ節炎をPET画像のみで鑑別することは通常は困難である。組織検査で確認できれば一番よいが、侵襲的になることが多い。そこで鑑別が困難な場合は、1～3か月の期間をおいて、PET再検査でFDG集積が増強していないか経過観察するのもよい選択であろう。

4）生理的胃集積は特に胃の近位側（胃底部、胃体部）で目立つ。生理的胃集積の主体は粘膜か筋層か解明されていない[3)]。生理的胃集積と腫瘍の鑑別では、前者が通常びまん性であり、後者が限局性であることに注意する。即ち胃の限局性高集積では腫瘍が考えられる。

4. 胃癌でのPETの有効活用

病期診断（staging）での意義は、傍大動脈リンパ節転移を含めた遠隔転移の検索である。すなわち遠隔転移が予想される進行癌が対象となる。ただし原発巣の生検結果が印環細胞癌や粘液癌、低分化腺癌のpor2の場合はFDGが高集積せず偽陰性となるためPETの適応から除外するのがよい。

再発診断でも初回手術時の組織型を参考にするのがよい。通常の検査で診断困難な腹膜転移の診断に利用できる。局所再発の診断やリンパ節転移の広がりも調べることができる。原因不明の腫瘍マーカー高値例はPETの良い適応である。PETで思わぬ部位に転移が発見されることは、他臓器癌での経験から予想される。胃癌の再発診断でPETをもっと活用するのがよい。

現在PETは主に腫瘍の画像診断で利用されている。しかしPET本来の用途は*in vivo*（生体）でのブドウ糖代謝の定量評価である。この用途は化学療法の効果判定に適用できる可能性がある。化学療法の効果判定では形態変化に基づくRECIST（Response Evaluation Criteria in Solid Tumors）が用いられているが、形態変化に先立ち代謝の変化が生じるであろうことは容易に理解できる。そこで化学療法の早期にPETで腫瘍の糖代謝を評価する試みがある。食道胃境界部の腺癌では、術前化学療法でのmetabolic responderはnon-responderに比較し予後が明らかに良好であった[4]。進行・再発癌の化学療法で早期の効果判定にPETを活用する場合の方法論がPERCIST（PET Response Criteria in Solid Tumors）として提案されており大変魅力的である[5]。腫瘍全体でのmetabolic tumor volume、total lesion glycolysisなど新しいパラメーターも提唱されている。胃癌化学療法の効果判定でPETが有効活用できるか今後の研究領域である。

参考文献
1）安田 聖栄. 腫瘍PET. 最新医学 1999; 54: 1141-1148.
2）安田 聖栄, 幕内 博康. 胃癌でのPET･PET/CTの有効活用. 臨外 2010; 65: 216-222.
3）Yasuda S, et al. Preliminary study comparing diffuse gastric FDG uptake and gastritis. Tokai J Exp Clin Med 2008; 33: 138-142.
4）Lordick F, et al. PET to assess early metabolic response and to guide treatment of adenocarcinoma of the oesophagogastric junction: the MUNICON phase II trial. Lancet Oncol 2007; 8: 797-805.
5）Wahl RL, et al. From RECIST to PERCIST: evolving considerations for PET response criteria in solid tumors. J Nucl Med 2009; 50: 122S-150S.

症例提示

①早期胃癌

胃バリウム検査（**図1a**）で胃の病変を指摘され内視鏡検査で胃癌と診断された。PET/CTでは胃角部に限局性の高集積が認められた（**図1b, c**）。幽門側胃切除術が行われ、切除標本（**図1d**）で30×20mm、0-IIa型、病理組織学的にはtub2、深達度SM（粘膜下層）、N0（0/53）の早期癌であった。早期胃癌であってもtub2の隆起型は腫瘍体積が大きい場合はPETで検出できる。

図1a　胃バリウム検査画像

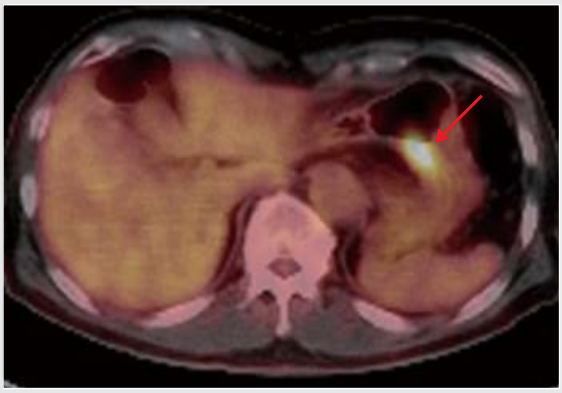


図1c　PET/CT画像

図1b　MIP画像

図1d　切除標本肉眼像

②早期胃癌

喉頭癌で放射線化学療法を受け、経過観察のPET/CTで偶然発見された。胃バリウム検査（**図2a**）では胃角部小弯に隆起性病変があり、PET/CTでは病変部に一致してFDGの高集積が認められた（**図2b, c**）。幽門側胃切除術が行われ、切除標本（**図2d**）で35×25mm、0-I型、病理組織学的にはtub1＞tub2、深達度SM、N0（0/47）の早期癌であった。

図2a　胃バリウム検査画像

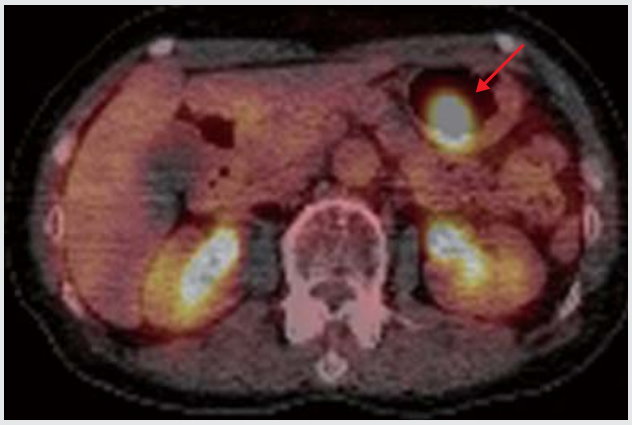


図2c　PET/CT画像

図2b　MIP画像

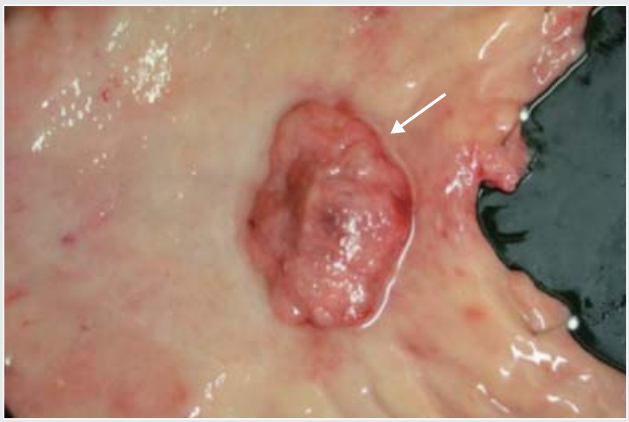


図2d　切除標本肉眼像

③スキルス胃癌と腹膜転移

心窩部痛を主訴に受診。術前のPET/CTで原発巣に高集積がみられ、また腹膜転移も認められた（**図3a, b**）。胃全摘術が行われ術中に腹膜転移が確認された（**図3c**）。切除標本（**図3d**）で胃体部の前壁と小弯を占める90×80mmのスキルス胃癌で、病理組織学的にはpor2＞por1＞sigであった。FDG集積の乏しい組織型であるが腫瘍体積が大きいため高集積が認められたと考えられる。

図3a　MIP画像

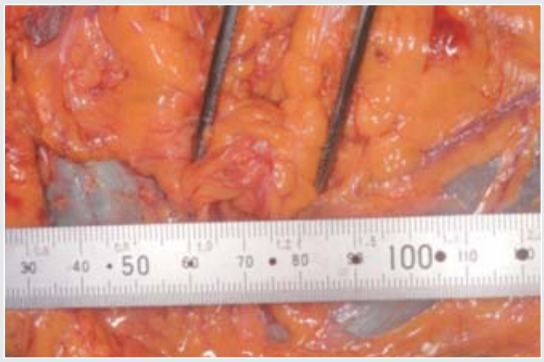


図3c　術中所見

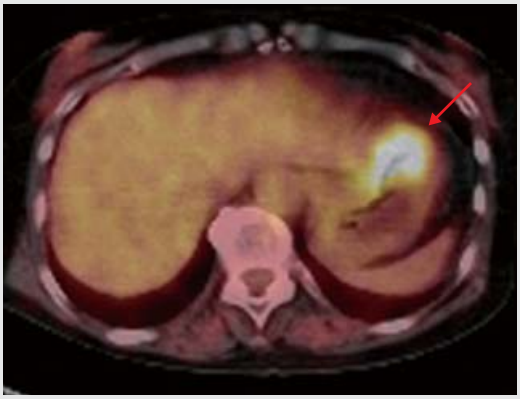


図3b　PET/CT画像

図3d　切除標本肉眼像

④びまん性胃集積

胃全体にびまん性集積がみられた典型例。生理的胃集積（**図4a**）は通常は胃底部と胃体上部で強い。スキルス胃癌（**図4b**）は通常は組織型が印環細胞癌と低分化腺癌で間質組織も多いため高集積となることはない。胃悪性リンパ腫（**図4c**）でaggressive typeは高集積となる。

図4a　生理的胃集積

図4b　スキルス胃癌

図4c　胃悪性リンパ腫

⑤進行胃癌と肝転移

長径5cmの胃体部の進行癌で、術前のPET/CTで2cm大の肝転移が認められた（**図5a, b**）。手術では噴門側胃切除と肝部分切除が行われ、組織学的にはtub2であった。

図5a　MIP画像

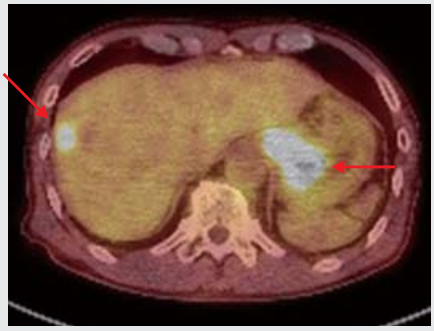


図5b　PET/CT画像

⑥進行胃癌と傍大動脈リンパ節転移

胃底部から胃角部に及ぶ長径10cmの進行胃癌で、胃全摘術が行われ、病理組織学的にはmuc＞tub2=tub1＞papであった。術前のPET/CTで広範な傍大動脈リンパ節転移（**図6a, c波線部**）が認められたが、これは術中および病理学的にも確認された。

図6a　MIP画像

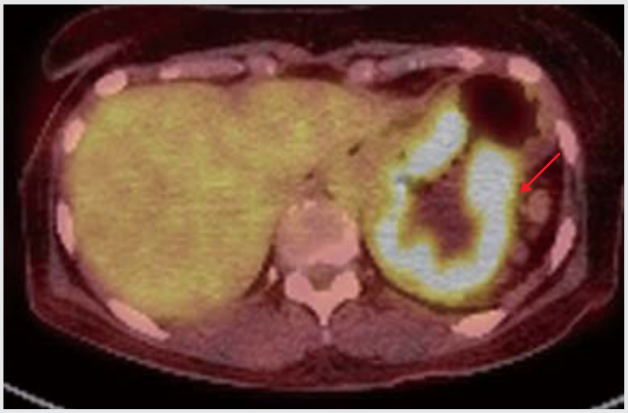


図6b　PET/CT画像

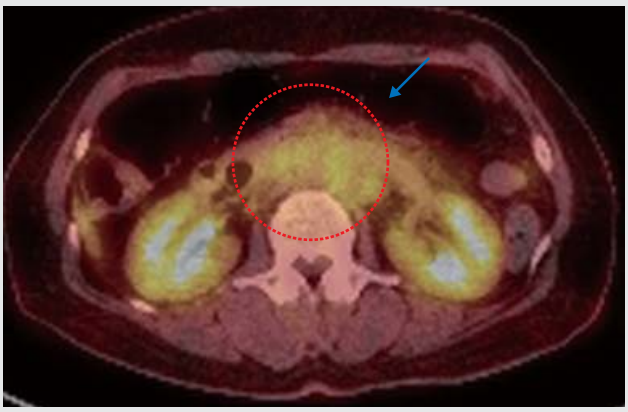


図6c　PET/CT画像

⑦胃癌術後のリンパ節転移再発

胃癌術後のリンパ節転移再発で、PET/CTは転移巣の広がりを把握することで役立つ（病理組織は不明）。

図7a　MIP画像

図7b　PET/CT画像

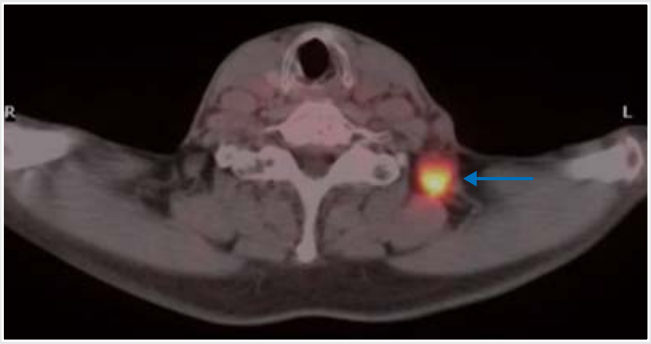


図7c　PET/CT画像

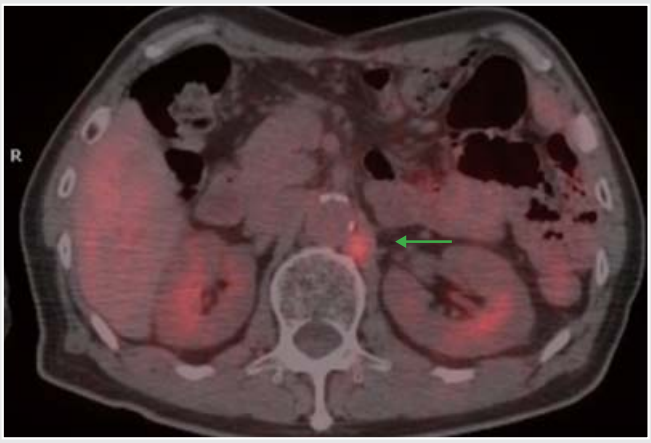


図7d　PET/CT画像

⑧胃癌術後の吻合部再発

胃癌（tub2）術後の吻合部再発**（図8a）**。吻合部に限局性の高集積が認められた**（図8b, c）**。他の部位に明かな再発は認められず、放射線化学療法（5FU+CDDP）が行われた。いったんはCRが得られたものの、最終的には肝転移が出現し進行した。再発の早期発見で予後が改善するとのエビデンスが得られれば、PET/CTによる再発診断の価値が高まると考えられる。

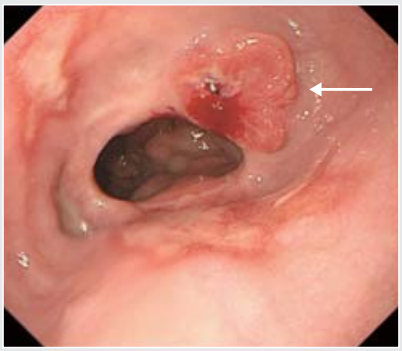


図8a　胃内視鏡画像

図8b　MIP画像

図8c　PET/CT画像

PETによる大腸癌の診断

倉敷中央病院 放射線科　石守 崇好

1. 原発巣の評価

大腸癌の診断においては、通常、注腸X線検査や内視鏡検査が最初に行われることが多く、形態的診断についてPETはこれらのmodalityには及ばない。PET/CTのCTを用いて3D-CT colonographyを行って形態的診断を行う試みも行われているが[1]、現時点では一般的とまでは言えないように思われる。

大腸癌の原発巣にはFDGが集積する例が多いとされる。しかし、大腸には生理的集積が強くみられる場合も多く、大腸に局所的な高集積がみられてもPET単独では生理的集積かどうか判別に苦慮する例も多く経験される[2]。PET/CT融合画像により、病変の同定や生理的集積との鑑別の精度は改善したが[3]、生理的集積が非常に強い場合や、病変が微小な場合などの診断には自ずと限界がある。この大腸の生理的集積の機序についても以前から様々な検討がなされているが、生理的集積を抑制する決め手は未だ明らかではない。

また、良性の腺腫でも高集積を呈する場合もある[1]。この場合でも一般に内視鏡的切除などを要することも多く、臨床的な対処方針の決定において厳密な病理学的良悪性に影響されない場合もある。PET単独での質的鑑別診断は困難であり、良悪性の確定診断においては通常内視鏡下生検による病理組織検査が必要である。

PETの空間分解能はCT・MRIには遠く及ばず、原発巣の局所浸潤の程度の判定には不向きである。しかし、PET/CT融合画像診断を用いることで、他のmodalityでは指摘できなかった進展範囲を指摘できる可能性がある。

2. 転移巣の評価

大腸癌術前の病期診断においては、リンパ節転移および遠隔転移の診断が重要である。リンパ節転移に関しては、原発巣と離れた部位で、大きいものほど検出しやすいが、PET単独ではCT等に比較して必ずしも勝るとはいえない。とくに原発巣近傍の腸管傍リンパ節の検出には限界がある。この点はPET/CT融合画像診断により改善される可能性がある。遠隔転移の診断において、PETはスクリーニング性が高く容易に全身検索を行えるため有用性が高く、予期せぬ転移が発見され治療方針に大きく影響することがある。肝には中等度の生理的なFDG集積がみられるため転移巣の検出感度は必ずしも高くない報告もあるが[4]、CTなど他のmodalityより特異度が高く、正診率も一般的には高い。小病変についてはUSやCTなど他法とも組み合わせて診断することが重要である。肺転移や腹膜播種など予期せぬ転移が発見されることもしばしば経験される。

3. 再発巣の評価

大腸癌手術後の症例ではCT・MRIなどの形態診断では術後変化と再発との判別が難しい場合が多く、PETによる再発・転移巣の全身検索は臨床上有用な情報を与えることが多い[5]。とくに、腫瘍マーカーの有意な上昇や、疼痛の増悪など臨床的に再発が強く疑われる場合には、PETによる全身検索が非常に良い適応となる。また、大腸癌は他の癌種と異なり転移・再発巣の早期発見・早期治療により予後が改善するとされ、再発症例に対しても根治目的の治療が行われる場合も多い。この点でもPETの意義は極めて大きい。

再発病変に対して化学療法や放射線治療が行われる場合も多く、これらの治療効果の評価においても、形態学的評価に組織のviabilityの情報を追加するPETの有用性は高い。ただし、放射線治療後には炎症性変化や反応性変化がみられること、病変部位によって治療効果に乖離がみられる場合もあること、などに注意して慎重に評価する必要がある。

4. 注意事項

大腸癌の診断におけるPET検査の注意事項として、PET施行前に内視鏡検査あるいは注腸X線検査が行われている場合が挙げられる。PET検査前に使用された下剤の影響が明らかにある場合には、生理的集積が増強し病変局所の診断が困難となる場合がある。また、腫瘤の内視鏡的切除あるいは生検が行われた直後のPET検査では局所の偽陽性を呈する場合がある。さらに、PET/CT特有の注意として、注腸X線検査の造影剤が残存している場合には、CTでの病変の診断がアーチファクトにより困難となるのみならず、PET画像にも偽陽性が出現する場合があり、造影剤が十分に排泄された状態でPET検査を施行する必要がある。実際の臨床経過は様々であり一律の判断基準を設けるのは困難であるが、臨床情報を詳細に検討して他の検査との最適な組み合わせを提案することが望ましいと思われる。

参考文献
1) Gollub MJ, et al. Combined CT colonography and ^{18}F-FDG PET of colon polyps: potential technique for selective detection of cancer and precancerous lesions. AJR Am J Roentgenol 2007 Jan; 188(1): 130-138.
2) Israel O, et al. PET/CT detection of unexpected gastrointestinal foci of ^{18}F-FDG uptake: incidence, localization patterns, and clinical significance. J Nucl Med 2005 May; 46(5): 758-762.
3) Cohade C, et al. Direct comparison of ^{18}F-FDG PET and PET/CT in patients with colorectal carcinoma. J Nucl Med 2003 Nov; 44(11): 1797-1803.
4) Frankel TL, et al. Preoperative imaging for hepatic resection of colorectal cancer metastasis. J Gastrointest Oncol 2012 Mar; 3(1): 11-18.
5) Denecke T, et al. Comparison of CT, MRI and FDG-PET in response prediction of patients with locally advanced rectal cancer after multimodal preoperative therapy: is there a benefit in using functional imaging? Eur Radiol 2005 Aug; 15(8): 1658-1666.

症例提示

①結腸癌の病期診断

20歳代、男性。

●腹痛にて受診、大腸内視鏡にて下行結腸に腫瘍を指摘。病期診断目的でPET/CTが施行された。

●PET/CT所見 **(図1a-c)**

下行結腸に4cm大の腫瘤あり、強いFDG集積(SUVmax=18.5)を認める(矢印)。大腸癌原発巣に合致する所見。さらに肝内にFDG高集積(最大でSUVmax=11.0)を伴う結節が多発し、多発肝転移の所見。

原発巣のごく近傍の病変は原発巣と分離できず、明らかなリンパ節転移や腹膜播種は指摘できない。

●手術結果

下行結腸と肝に腫瘍が認められ、左半結腸切除術が施行された。病理学的に原発巣はmucinous adenocarcinomaと診断され、また結腸傍リンパ節(#231)に転移が認められた。

●本例のポイント

大腸癌原発巣は、とくに進行癌の場合強いFDG集積を呈し、PET/CTで明瞭に指摘できることが多い。リンパ節転移や播種については、微小な病変の場合や、原発巣の近傍の病変の場合に指摘困難な場合があるが、原発巣の近傍の病変の有無は治療法の選択に影響は少ないことが多い。肝など遠隔転移の診断においてはPET/CTが有用であり、治療法の選択に与える影響も大きい。

図1a　MIP画像

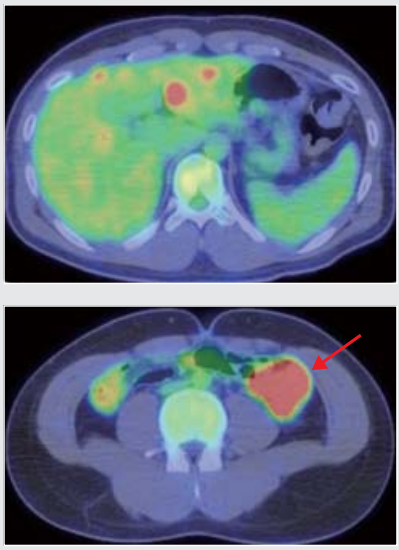


図1b　PET/CT画像

図1c　CT画像

②直腸癌の再発診断

60歳代、女性。

●約1年半前に直腸癌（Ra）で高位前方切除術を施行（tubular adenocarcinoma、深達度pSS）。直腸傍リンパ節（#251）に転移がみられた（pN1）。以後、化学療法を施行していたが、CTで吻合部近傍に結節が疑われ、再発の精査目的でPET/CTが施行された。

●PET/CT所見（**図2a-c**）

吻合部よりやや頭側の仙骨前面にFDG高集積（SUVmax=9.14）を伴う結節が認められ、再発が疑われる（矢印）。他に明らかな再発は指摘できない。

●手術結果

同部位の腫瘤の摘出術が施行され、病理組織学的にtubular adenocarcinomaの再発が確認された。

●本例のポイント

直腸癌の再発巣は、CTでは術後変化と紛らわしい場合も多く診断に苦慮することがある。PET/CTでは再発巣と術後瘢痕との区別が容易な場合が多く、診断に非常に有用である。再発が単発や限局している場合には切除の適応となる場合も多く、全身撮像で他の転移巣の有無を確認できる点でもPET/CTの有用性が高い。

図2a　MIP画像

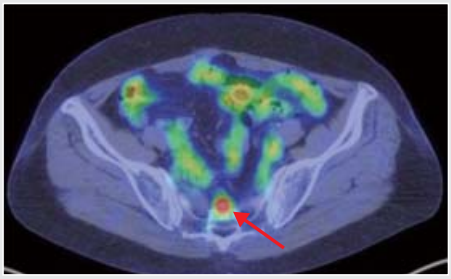


図2b　PET/CT画像

図2c　CT画像

③直腸癌の再発診断、治療効果判定

60歳代、男性。

●約3年前に直腸癌（Rb）で低位前方切除術を施行（tubular adenocarcinoma、深達度pSM）。直腸傍リンパ節（#251）に転移がみられた（pN1）。以後、化学療法を施行するも副作用のため1コースで中止。経過観察中に吻合部狭窄を指摘され、再発の精査目的でPET/CT（1回目）が施行された。

●PET/CT所見（1回目）（**図3a**）

吻合部近傍にfocalなFDG高集積（SUVmax=3.7）を伴う軟部濃度が認められ、再発が疑われる（矢印）。他に明らかな再発は指摘できない。

●MRI所見（**図3b**）

吻合部の頭腹側寄りにT1強調像・T2強調像で低信号、拡散強調像で高信号、ADC低下を呈する腫瘤像がみられ、再発に合致する所見である（矢印）。

●経過（1）

同部位の内視鏡下生検にて病理組織学的にtubular adenocarcinomaの再発が確認された。以後、化学放射線療法が施行され、約1年後、治療効果と再発の精査目的で再度PET/CT（2回目）が施行された。

●PET/CT所見（2回目）（**図3c**）

CTの吻合部近傍の軟部濃度は治療前と目立った変化がみ

られないが、focalなFDG集積はSUVmax=3.0とやや減弱し、治療効果と思われる（矢頭）。しかし肝S7（SUVmax=4.6）、肝S5/6（SUVmax=4.3）にFDG集積を伴う低吸収域が出現しており、肝転移と考えられる（矢印）。

●経過（2）

以後、薬剤を変更して化学療法を継続している。

●本例のポイント

直腸癌の局所再発は、CTでは術後変化と紛らわしい場合も多く診断に苦慮することがある。PET/CTは診断に有用であるが、MRIなど他の画像所見と総合することによって診断の正確性・確信度を補強することができる。化学療法、放射線療法の治療効果判定においてもPET/CTはCTの変化より鋭敏に評価が可能であり診断に有用であるが、全身像の評価においては、病変部位による治療効果の差異が生じる場合もあり、病変毎に慎重に診断することが必要である。

PET/CT（1回目）

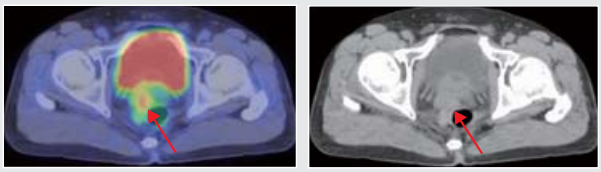
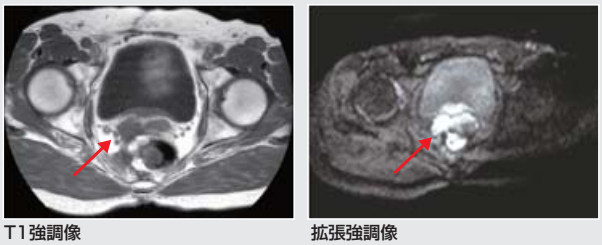
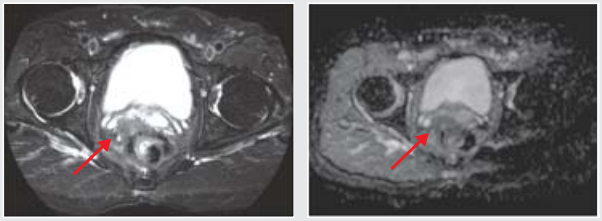


図3a　MIP画像、PET/CT画像、CT画像



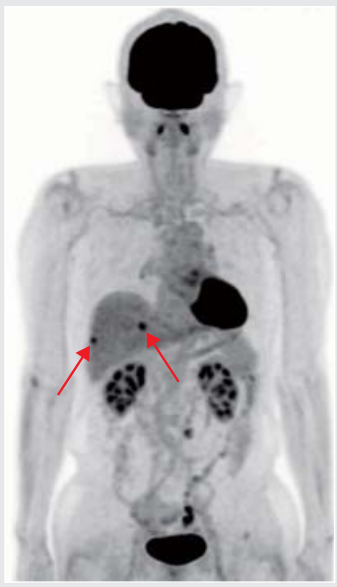
T1強調像　　拡張強調像



FS-T2強調像　　ADC-map

図3b　MRI画像

PET/CT（2回目）



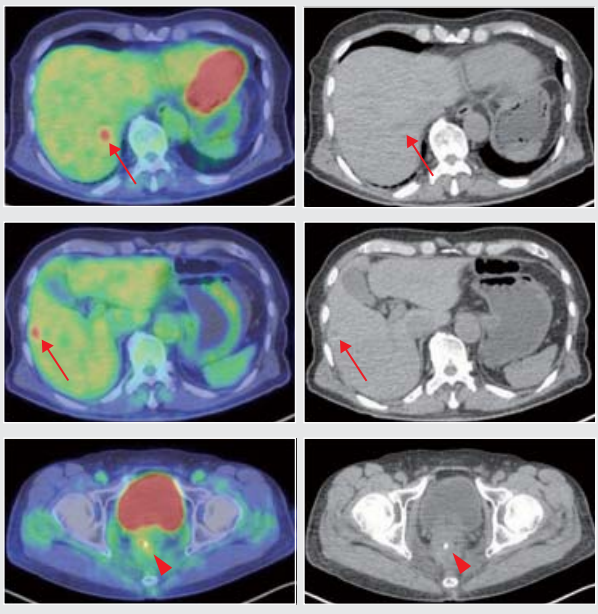


図3c　MIP画像、PET/CT画像、CT画像

PETによる肝臓癌の診断

関西医科大学附属枚方病院 核医学科　河 相吉

肝細胞癌はFDGがリン酸化を受けた後に再び脱リン酸化され、細胞外に拡散するためSUVが低く、肝細胞癌原発巣の検出感度は60%程度であり、PETの有用性は高くない。肝腫瘤性病変の存在がすでに示されているがPETの早期像で病巣の異常所見が示されないときでも、時間経過によって周囲健常肝の生理的集積が減少するため、病巣の集積像が後期像ではじめて出現することがしばしば経験される。淡い集積で所見として不明瞭な場合でも、後期像では病巣コントラストが明瞭となって診断の確信度が増すことがあり、必要に応じて後期像を追加するとよい。

経カテーテル治療や局所穿刺治療後は血行動態変化により通常の造影剤増強効果が修飾されたり、肝切除後の形態変化によって、CTやMRIでの診断がしばしば困難となることがある。PETは病巣と治療後の反応性肉芽組織、正常組織とのコントラストが明瞭であり、肝内および肝周囲再発病巣の検出に優れている。

肝内胆管癌は高い頻度でFDGの良好な集積を示し、その有用性は高い。肉眼型として最も多い腫瘤形成型は辺縁優位のFDG集積を示すことが特徴である。肝門部に近い病変でしばしばみられる胆管浸潤型は、胆管の長軸方向へ樹枝状進展を示しFDG集積は認められないことが多い点には注意を要する。

大腸癌の肝転移に対する治療法のうち、外科的肝切除は最も高い5年生存率が得られる。肝切除の適応の判定には、肝転移巣が切除可能であるかとともに、肝外転移がないかが重要な情報であり、外科治療の適応を判定する上で全身を評価できるPETは有用である。

肝原発性の悪性リンパ腫はまれであるが、続発性の肝浸潤は進行した悪性リンパ腫で比較的よくみられ、その頻度は非ホジキンリンパ腫では15%に及ぶ。病変はびまん性浸潤型と単発性/多発性の腫瘤形成型がある。びまん性浸潤型では肝腫大を示すものと示さないものがあり、CTやMRIでの診断は難しくPETが検出に有用である。腫瘤形成型では、転移性肝腫瘍との鑑別が必要となるが、所属領域以外のリンパ節所見の存在、肝内の脈管が腫瘍内を貫通する、あるいは肝内の脈管構造に対するmass effectや浸潤が少ないといった所見があれば，特異的ではないがリンパ腫を示唆できる画像的根拠となる。

参考文献
1) 日本肝臓学会編: 科学的根拠に基づく肝癌診療ガイドライン2009年版. 金原出版(株); 2009. p52-53.
2) Sun L, et al. Metabolic restaging of hepatocellular carcinoma using whole-body ^{18}F-FDG PET/CT. World J Hepatol 2009; 31: 90-97.
3) 波多野 悦朗, 他. 肝内胆管癌におけるPET/CTの意義. 日消誌 2012; 109: 1878-1884.
4) 日本肝癌研究会追跡調査委員会：第18回全国原発性肝癌追跡調査報告(2004～2005). 肝臓 2010; 51: 460-484.
5) Kim YJ, et al. Usefulness of ^{18}F-FDG PET in intrahepatic cholangiocarcinoma. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2003; 30: 1467-1472.
6) Chung YE, et al. Varying appearances of cholangiocarcinoma: radiologic-pathologic correlation. Radiographics 2009; 29: 683-700.
7) 大腸癌治療ガイドライン医師用 2010 年版.
8) Minagawa M, et al. Extension of the frontiers of surgical indications in the treatment of liver metastases from colorectal cancer: long-term results. Ann Surg 2000; 231: 487-499.
9) Wiering B, et al. The impact of fluor-18-deoxyglucose-positron emission tomography in the management of colorectal liver metastases. Cancer 2005; 104: 2658-2670.
10) McLeish AR, et al. Impact of ^{18}F-FDG-PET in decision making for liver metastectomy of colorectal cancer. ANZ J Surg 2012; 82: 30-35.
11) Metser U, et al. PET-CT of extranodal lymphoma. AJR Am J Roentgenol 2004; 182: 1579-1586.
12) Lee WK, et al. Abdominal manifestations of extranodal lymphoma: spectrum of imaging findings. AJR Am J Roentgenol 2008; 191: 198-206.

症例提示

①肝細胞癌

80歳代、男性。

CTで膵管内乳頭粘液性腫瘍（IPMN）と肝腫瘤を指摘された**（図1a, b, c）**。肝腫瘤は造影CT動脈相で増強効果が乏しく、画像診断によるHCCの確定診断は困難であり、IPMNの癌化による肝転移も考えられた。PETでは、造影CTで示された肝腫瘤部に、1時間後の早期像では集積異常を認めなかったが、2時間後の後期像でSUVmax=3.3、健常部SUVmax=2.8と比較して淡い集積像が出現した**（図1d, e）**。肝病巣の集積度が乏しいことから、癌化したIPMNの肝転移よりも肝細胞癌が考えやすいと思われた。肝腫瘍切除が施行され、中分化肝細胞癌と診断された。IPMNには悪性所見を認めなかった。

肝細胞癌はFDGがリン酸化を受けた後再び脱リン酸化され細胞外に拡散するため、十分な集積が得られず転移性肝癌よりSUVが低い。とくに高分化癌でその傾向が強く現れ、肝細胞癌原発巣の検出に関するPETの有用性は低いとされている[1)]。

本例も早期像では病巣の異常集積は示されず、等集積を示すことが多い肝血管腫などの良性腫瘍との区別もできなかったが、後期像で集積亢進が軽度ながら明らかになったことから良性ではなく悪性が考えられた。さらに肝病巣の集積度が乏しいことに着目すれば肝転移よりも肝細胞癌をより強く示唆できたことから、術前生検なしで肝切除治療が選択され、後期像は有用であった。

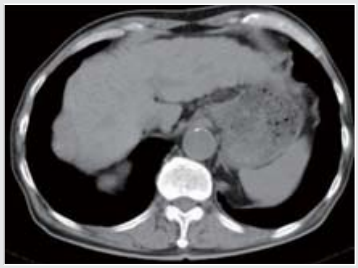


図1a　単純CT画像

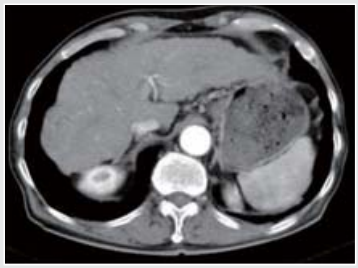


図1b　造影CT動脈相

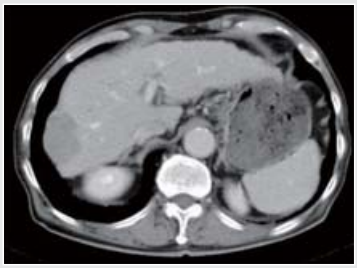


図1c　造影CT門脈相

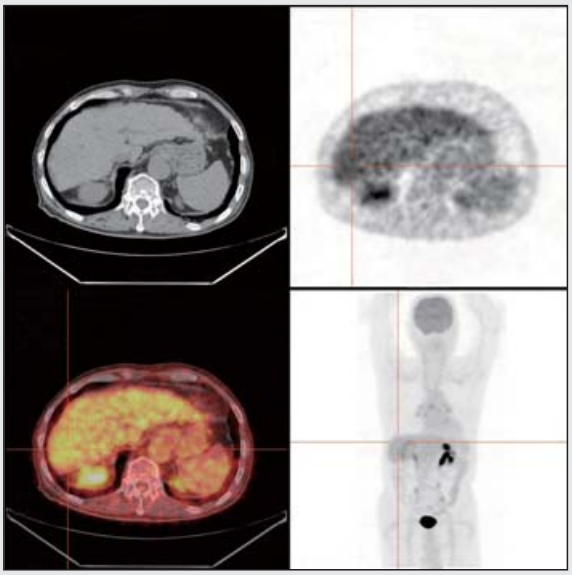


図1d　PET/CT早期像

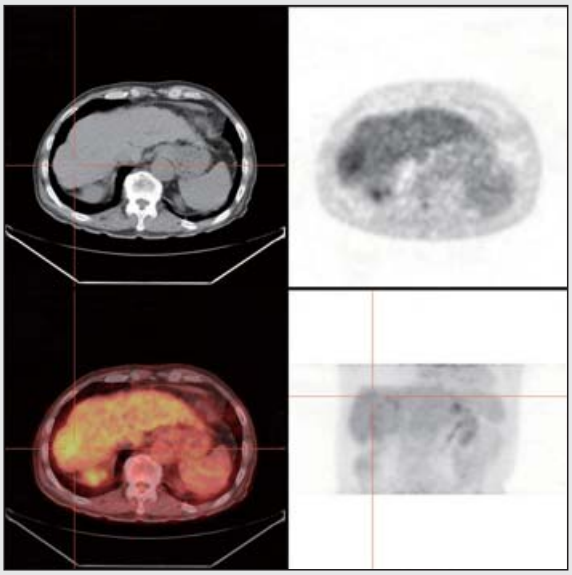


図1e　PET/CT後期像

②肝細胞癌術後

60歳代、女性。

10か月前、肝細胞癌に対し左葉内側区を切除された。αフェトプロテイン744.7ng/mL（基準値＜20ng/mL）と高値をみた。造影CT動脈相で再発病巣を示唆する早期濃染は認められず再発病巣は明らかでなかった**（図2a, b）**。PETでは横隔膜直下、下大静脈の左、腹部食道と肝左葉間に、SUVmax=5.2、結節状の異常集積を認めた**（図2c）**。

2か月後のCTアンギオグラフィ、血管造影でFDG集積部位に腫瘍濃染を認め、塞栓術治療が施行された**（図2d, e）**。

肝切除後は通常の肝形態が失われるなど術後変化が加わり、CTやMRIでの診断はしばしば困難である。PETは病巣と術後の肉芽組織や正常組織とのコントラストが明瞭であり、肝内再発病巣の検出に優れている。Sun Lらは、肝細胞癌の外科切除後やIVR治療後における肝外転移や再発診断のPET/CTは感度89.5%、特異度83.3%、正診率88.0%と優れており、再発病巣の早期の検出と治療法の選択に有用としている[2)]。

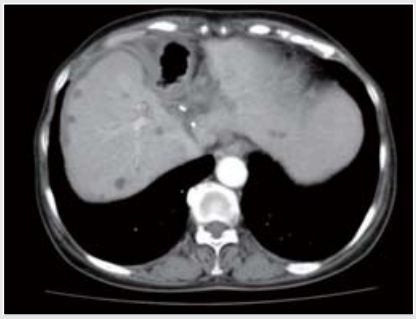


図2a　造影CT動脈相

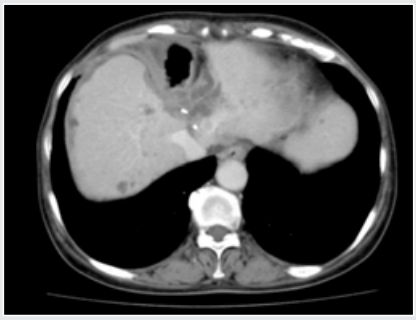


図2b　造影CT門脈相

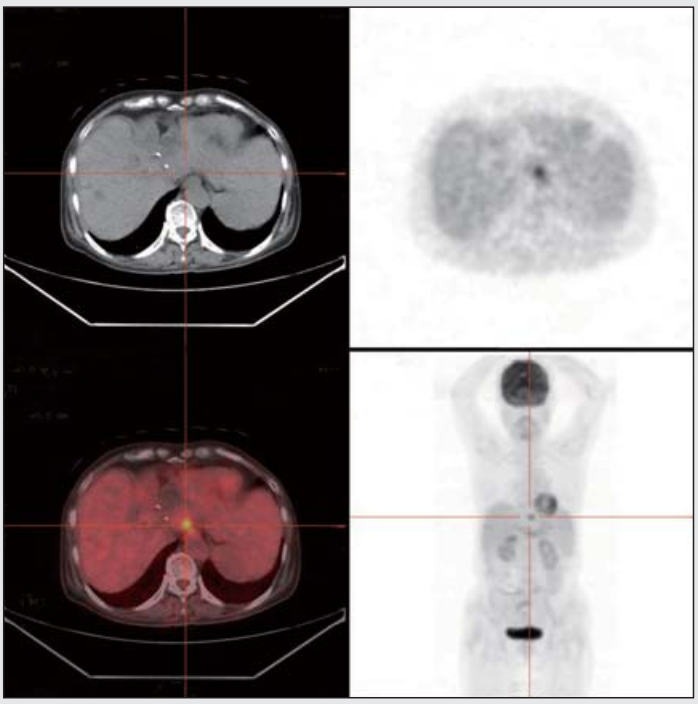


図2c　PET/CT早期像

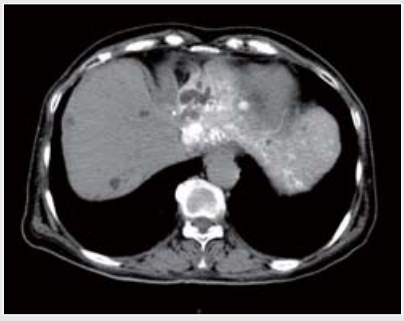


図2d　CT アンギオグラフィ

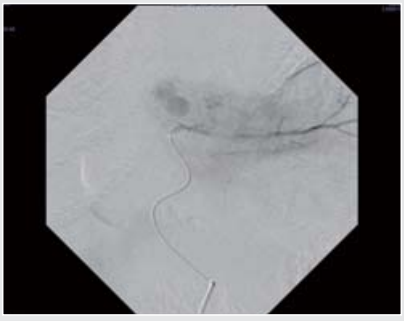


図2e　血管造影：左肝動脈造影

③肝門型肝内胆管癌

70歳代、女性。

閉塞性黄疸にて発症した。CTで肝内胆管の拡張、左葉内側区に腫瘍を認めた**（図3a）**。ERCP下の胆汁細胞診でadenocarcinomaと診断された。PETでは肝左葉内側区を占める65X50mm大、SUVmax=29.9、内部は欠損を呈するリング状の高度の異常集積を認めた**（図3b）**。

腹腔鏡にて腹膜播種、転移所見はなく、開腹するも腫瘍は右肝動脈、右肝内胆管末梢に浸潤しており非切除に終わった。

肉眼的分類は腫瘤形成＋胆管浸潤型の肝門型肝内胆管癌と診断された。

空間分解能の制約を受ける小病変や粘液嚢胞性病変を除いて、臨床的に問題になる肝内胆管癌に対してPETはほぼ全例で陽性となる[3]。

肝内胆管癌は胆管の二次分枝、およびその肝側の肝内胆管に由来するもので、肝末梢部に発生する末梢型と、肝門部近傍の肝内胆管に発生する肝門型がある。肉眼型は腫瘤形成型（63.1%）が最も多く、次いで本例のような腫瘤形成+胆管浸潤型（21.9%）、胆管浸潤型（7.2%）、胆管内発育型（4.3%）である[4]。腫瘤形成型では本例のようにCTやMRIでみられる造影剤の早期の増強効果に対応した辺縁優位のFDG集積を示すが、胆管浸潤型は胆管の長軸方向へ樹枝状進展を示し、FDG集積が認められないことが多い[5]。

図3a　造影CT画像

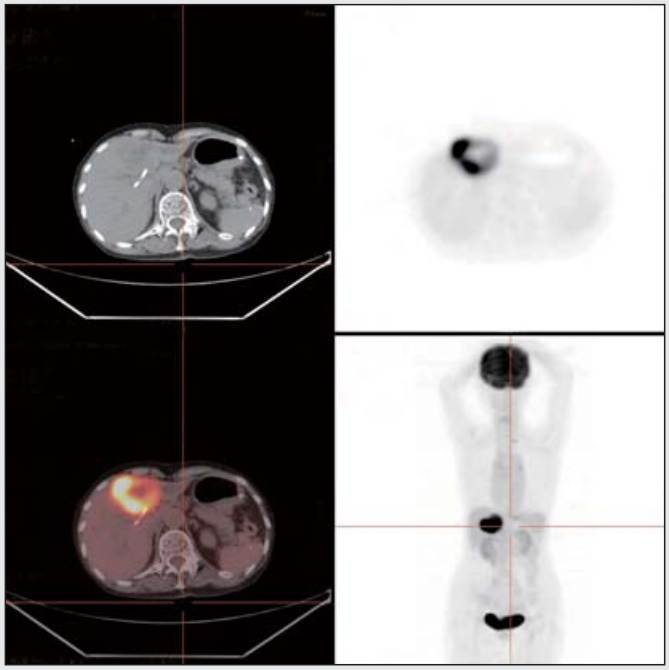


図3b　PET/CT画像

④末梢型肝内胆管癌

70歳代、女性。

23年前、胃癌にて胃切除術（B-I）施行。C型慢性肝炎。2年ほど前より腫瘍マーカーが徐々に増加し、CA19-9 542.1U/mL（基準値37U/mL以下）、CEA5.3ng/mL（基準値5.0ng/mL以下）であった。初回のPET/CTでは、肝右葉S5に限局的な萎縮とSUVmax（早期像：3.1、後期像：3.3）、軽度の腫瘤状集積亢進をみた**（図4a）**。悪性病変の確定は困難として経過観察となったが、腫瘍マーカーはさらに増加し、1年後のPET/CTでは同部位の早期像がSUVmax=3.6に増強した**（図4b）**ことから、末梢型肝内胆管癌と診断された。2年後には早期像SUVmax=6.1とさらに増強**（図4c）**、腹水も出現し細胞診でadenocarcinomaと診断された。抗癌治療は行われなかった。

本例は胃癌の既往、腫瘍マーカー異常があることから胃癌の再発転移の有無が念頭に置かれたが、MRIも含めた画像診断により肝萎縮部位への軽度集積亢進は転移病変以外の胆管閉塞、血管閉塞によるものとして悪性とは診断しえなかった。本例で認めた病巣近傍の肝辺縁に限局的な陥凹は、capsular retractionとして肝細胞癌よりも末梢型肝内胆管癌に比較的特徴的な所見とされる[6]ことに留意すれば、初回PET検査時に悪性所見との解釈もできたのではないかと反省させられた症例である。

初回PET/CT

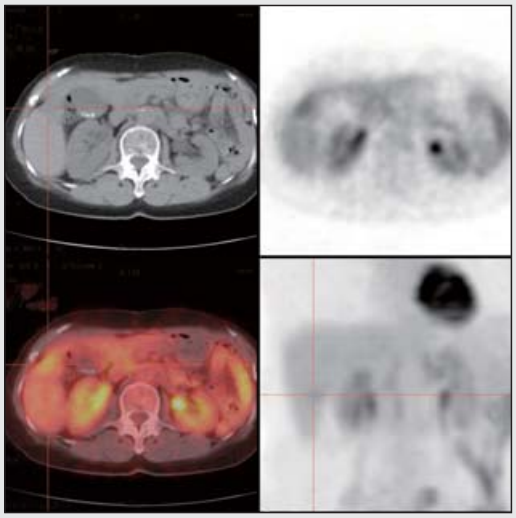


図4a　PET/CT早期像

1年後PET/CT

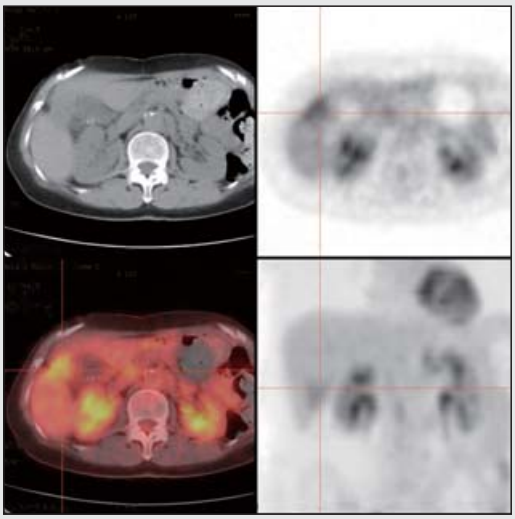


図4b　PET/CT早期像

2年後PET/CT

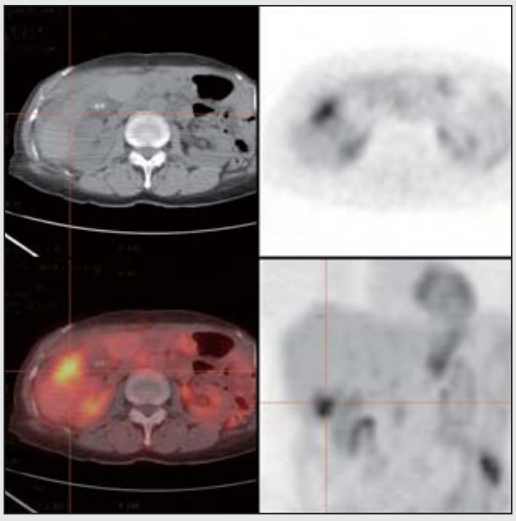


図4c　PET/CT早期像

⑤大腸癌の肝転移

70歳代、男性。

盲腸癌にて右半結腸切除。1年半後、肺転移切除。2年後、CEA80.1ng/mL（基準値5.0ng/mL以下）と高値を認めたが、単純CT、造影CTともに肝病変は指摘できなかった**（図5a）**。FDG投与1時間後の早期像**（図5b）**では肝右葉S8に18mm、SUVmax=5.9、2時間後の後期像ではSUVmax=7.3、その他の肝内2か所、右副腎、腸骨に多発転移所見を認めた。肝外転移巣を認めることから手術適応外となった。

本例は腫瘍マーカー異常を説明する肝転移病巣をPETで初めて指摘し得たが、同時に肝外転移も認め、肝転移巣の手術適応がないことも明らかとし得た。大腸癌の肝転移に対する治療法のうち、外科的肝切除は20～40%の5年生存率が得られ[7]、もっとも効果が高い。肝切除の適応基準は、1）肝転移巣を遺残なく切除可能、2）肝外転移がないか制御可能であること[7]、とされており、最近ではH3など個数の多い肝転移も積極的に切除が行われている[8]。肝転移の評価とともに肝外病巣の有無は外科治療の適応を判定する上で重要である。

結腸直腸癌の肝転移32文献のメタアナリシス研究では、PETは感度88.0%、特異度96.1%であり、CTの感度82.7%、特異度84.1%と比較して、感度はほぼ同等であるが特異度はPETがCTより優れ、診療への影響は31.6%に及んでいた[9]。McLeish　ARらはCTを中心とした画像診断で切除対象とされた結腸直腸癌の肝転移54例中、PETの結果、肝転移なし11例、肝転移病巣の追加あり5例、肝外病変あり8例、計24例（44.4%）で手術が中止されたと報告している[10]。

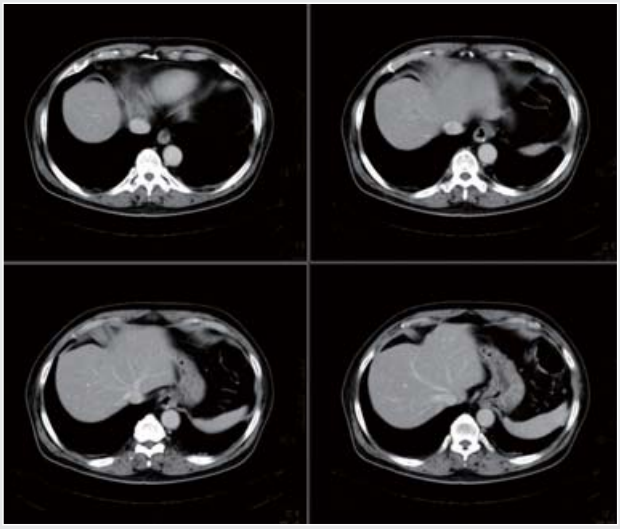


図5a　造影CT画像（肝連続4スライス）

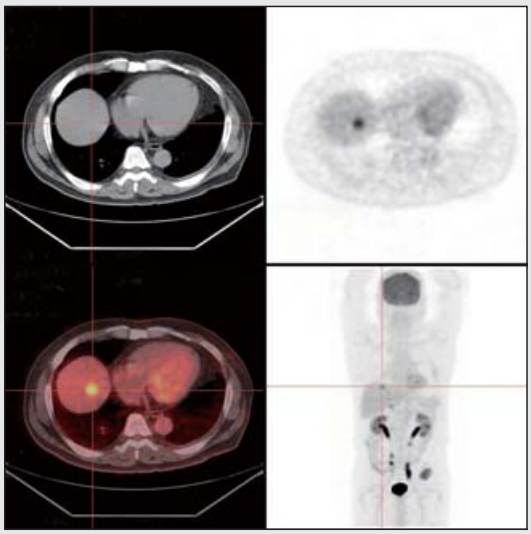


図5b　PET/CT早期像

⑥肝原発悪性リンパ腫

60歳代、女性。

近医にて肝胆道系酵素異常、超音波検査で胆嚢結石を認めた。精査にて、膵管内乳頭粘液性腫瘍の混合型、自己免疫性肝硬変、肝右葉S6腫瘤を認めた（**図6a, b**）。肝腫瘤は当初、転移性肝癌と考えられたが、肝以外に原発巣所見はないことから、肝内胆管癌を疑って肝生検を施行し、MALTリンパ腫の診断であった。化学療法にて完全寛解を得た。

悪性リンパ腫の肝原発性はまれで、多くは続発性の浸潤であり、その頻度はホジキンリンパ腫で5%、非ホジキンリンパ腫で15%以下である[11]。病変はびまん性浸潤型と単発性あるいは多発性の腫瘤形成型がある。びまん性では肝腫大を示すものと示さないものがあり、CT、MRIよりPETが検出に有用である。腫瘤形成型では転移性腫瘍との区別は困難だが、悪性リンパ腫は、サイズがより小さく均一で、大きく融合したリンパ節病変を伴うことが鑑別点とされる[12]。

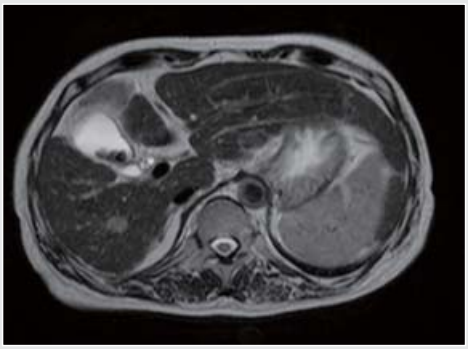


図6a　MRI T2強調水平断像

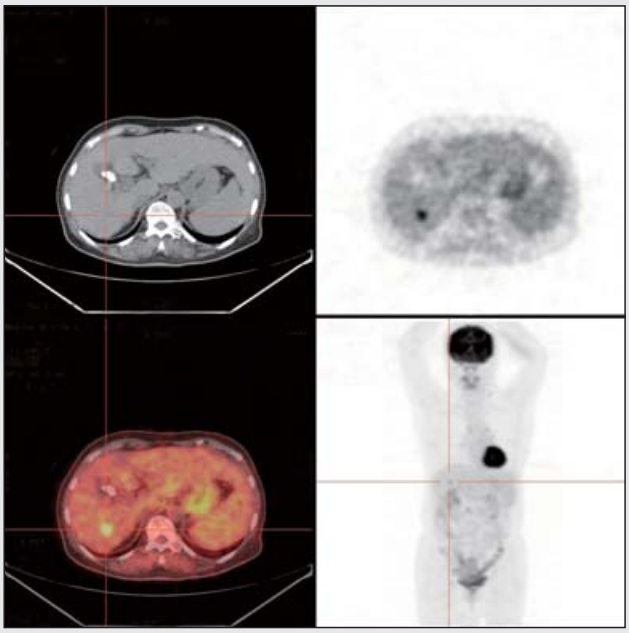


図6b　PET/CT画像

PETによる胆嚢癌・胆管癌の診断

昭和大学横浜市北部病院 放射線科　武中 泰樹

1. 原発巣へのFDG集積

発生部位により検出能が異なるので胆嚢癌、肝外胆管癌、肝内胆管癌に分けて記載する。特に胆管癌は部位により診断能が異なり、肝外胆管癌の方が肝内胆管癌より診断能が低いとされる[1]。

1）胆嚢癌

原発巣への集積はSUV4～8程度とばらつきがあり、視覚判定でCTに劣らない診断能が得られる。特に1.5cm以上の結節を形成している症例で診断能が高い[2),3)]。更にPET/CTでは原発巣の発見率は造影CTと同程度とされる[1]。逆に小さい病変や糖尿病で偽陰性となる。組織型ではmucinous adenocarcinomaが偽陰性であったとの報告もある[4]。良性病変では黄色肉芽腫性胆嚢炎、胆嚢炎、腺筋症、稀には結核[4]で集積の強い症例があり鑑別が難しい[2]。特に急性胆嚢炎には強く集積するが、集積が壁に沿いリング状であれば炎症と判別可能とされる[5]。腺筋症の集積は限局性でありSUVmaxが4台後半のものもあるため、悪性と判定される場合があり注意が必要である[6]。MRCPにより予め腺筋症と診断可能な場合もあり、PET検査は他の検査で診断に迷う場合に勧められる[4]。

2）肝外胆管癌

肝門型の集積は低めでSUV2～6程度との報告がある。他の検査で診断に迷う場合にPETが有用な症例もあるが、全体としての診断能は他の検査とほぼ同程度である[7),8)]。これはPET/CTを用いても同様である[9]。視覚評価とSUVによる判定の比較では、周囲肝との比による視覚評価の方がSUVによる判定より勝るとの報告がありSUVのみによる判定は注意が必要である[10]。全体としては腫瘤を形成するタイプ、管内にポリープ様発育をするタイプは検出しやすい。胆管に這うような進展をするものはわかりづらいとされる[11]。腫瘤自体の大きさとはあまり関係なく[12]、組織型ではtubular typeのcholangiocarcinomaは陽性率が高く、mucinous adenocarcinomaは粘液産生が多いためか偽陰性となりやすい。PET検査はERCP、MRIで判定困難であったり細胞診が難しい症例において有用とされる[10]。

3）肝内胆管癌

肝内型の集積は高めでSUVは6～12程度である[7]。原発巣の診断は一定の大きさがあればCT、MRIと同等である。この場合も腫瘤を形成するタイプ、胆管内にポリープ様発育をするタイプは検出しやすく、胆管に這うような進展をするものはわかりづらいとされる[11]。

2. 転移、再発巣へのFDG集積

全体としてはPETによる所属リンパ節転移、肝十二指腸リンパ節転移の検出能は低いとされる。遠隔転移、特に腹膜播種、肺転移、骨転移、軟部組織への転移、腹部以外の部位のリンパ節転移の診断が可能で有用とされる[1),7),10)]。特に他のモダリティで発見できなかった転移巣がみつかる症例もある[13]。PETでみつけられた肺転移の症例の検討ではすべて肝内胆管癌であったが、症状が出るのが遅い等、原疾患の進行度の影響も示唆される[7]。肝門部胆管癌の場合、20%の患者において肝転移をはじめとする遠隔転移を発見でき、治療方針決定に役立ったとの報告もある[12]。PET/CTは所属リンパ節転移、遠隔部リンパ節転移とも特異度が高い点でCTより有用との報告もあるが、今後更に検討が必要と思われる。

再発の早期診断、転移巣の検出において他のモダリティより特異度において優れる[14]。これは術後の解剖学的な構築の乱れの中から病変を検出可能なためとされる[3]。遠隔転移をみつけるのにも役立つ。胆嚢癌・胆管癌の場合、FDG集積が強いほど予後不良とされ、治療前のPET検査があれば予後の予測に役立つ可能性がある[15]。

3. PET診断の精度と注意点

胆嚢癌、肝内胆管癌に比べ肝外胆管癌は診断能が低い傾向がある。SUVによる判定が視覚評価に劣る場合がある。SUVを鵜呑みにするのは危険であろう。読影には炎症、腺筋症と言った良性病変への集積を念頭に置いた判定が勧められる。術後症例では経過期間によって肉芽への集積も有り、注意が必要である。PET検査は最初に行うより他検査の所見と合わせた判定が有用と思われる。

4. PET検査の位置づけ

胆嚢癌・胆管癌の診断においてPET検査による原発巣の良悪性の評価は1.5cm程度の腫瘤を形成していればCT（造影を含む）やMRIとほぼ同程度の診断能が得られる。実際には臨床経過や他検査にて診断される症例も多く、他検査や細胞診にて判定に迷う症例に追加することで診断に寄与可能と思われる。FDGは炎症や腺筋症のような良性疾患にも集積するので判定には注意を要する。ドレナージやステントと言った手技後の変化への集積にも注意が必要である。

T因子や所属リンパ節についてはPET/CTで寄与可能な可能性があるが現時点では他の検査が主体となる。PET検

査は遠隔転移の検出に優れるので手術の可否の判定に役立つ。

治療効果判定については今後の検討課題と考えられる。再発診断については術後変化の中から活動性病変を拾い上げることで寄与可能である。

参考文献

1) Petrowsky H, et al. Impact of integrated positron emission tomography and computed tomography on staging and management of gallbladder cancer and cholangiocarcinoma. J Hepatol 2006 Jul; 45(1): 43-50.
2) Koh T, et al. Differential diagnosis of gallbladder cancer using positron emission tomography with fluorine-18-labeled fluoro-deoxyglucose (FDG-PET). J Surg Oncol 2003 Oct; 84(2): 74-81.
3) Ramos-Font C, et al. Positron tomography with 18F-fluorodeoxyglucose in the preoperative evaluation of gallbladder lesions suspicious of malignancy. Diagnostic utility and clinical impact. Rev Esp Med Nucl 2011 Sep-Oct; 30(5): 267-275.
4) Rodriguez-Fernàndez A, et al. Positron-emission tomography with fluorine-18-fluoro-2-deoxy-D-glucose for gallbladder cancer diagnosis. Am J Surg 2004 Aug; 188(2): 171-175.
5) Kitazono MT, et al. PET imaging of acute cholecystitis. Clin Nucl Med 2006 Jan; 31(1): 23-24.
6) Maldjian PD, et al. Adenomyomatosis of the gallbladder: another cause for a "hot" gallbladder on ^{18}F-FDG PET. AJR Am J Roentgenol 2007 Jul; 189(1): W36-38.
7) Kim YJ, et al. Usefulness of ^{18}F-FDG PET in intrahepatic cholangiocarcinoma. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2003 Nov; 30(11): 1467-1472.
8) Ruys AT, et al. FDG-positron emission tomography/computed tomography and standardized uptake value in the primary diagnosis and staging of hilar cholangiocarcinoma. HPB (Oxford) 2011 Apr; 13(4): 256-262.
9) Li J, et al. Preoperative assessment of hilar cholangiocarcinoma by dual-modality PET/CT. J Surg Oncol 2008 Nov 1; 98(6): 438-443.
10) Kluge R, et al. Positron emission tomography with [^{18}F] fluoro-2-deoxy-D-glucose for diagnosis and staging of bile duct cancer. Hepatology 2001 May; 33(5): 1029-1035.
11) Kim JY, et al. Clinical role of ^{18}F-FDG PET-CT in suspected and potentially operable cholangiocarcinoma: a prospective study compared with conventional imaging. Am J Gastroenterol 2008 May; 103(5): 1145-1151.
12) Fritscher-Ravens A, et al. FDG PET in the diagnosis of hilar cholangiocarcinoma. Nucl Med Commun 2001 Dec; 22(12): 1277-1285.
13) 萩原 信吾, 他. 肝胆膵癌におけるPET診断の意義. コンセンサス癌治療 2006; 5(3): 148-153.
14) Kumar R, et al. Role of 18F-FDG PET/CT in detecting recurrent gallbladder carcinoma Clin Nucl Med 2012 May; 37(5): 431-435.
15) 古川 敬芳. 胆道癌のFDG-PET診断. 胆道 2009; 23(5) 775-782.

症例提示

①胆嚢癌

75歳女性

1．健診にて左横隔膜挙上の検索で施行された単純CTにて胆石、胆嚢壁肥厚を指摘される。壁肥厚が軽度不整であったためPET/CTが施行された。

2．PET画像では胆嚢部に比較的はっきりした異常集積がみられ（SUVmax=5.55）、PET/CT画像では壁肥厚部にほぼ一致している。腺筋症としては集積がはっきりしており胆嚢癌疑いの診断となった**（図1a-d）**。

3．PET/CT前に行われた腹部CT画像を示す**（図1e）**。胆嚢底部に比較的広い範囲の壁肥厚が有り、頸部には胆石がみられる。他に明らかな異常はなく、壁肥厚の良悪性の評価は困難である。後日行われたMRCPではRokitansky-Aschoff sinusがみられず腫瘍性病変が示唆された。

4．手術の結果、33×55mm大の結節浸潤型腫瘤を形成する胆嚢癌であった。本症例は形態的には腺筋症と紛らわしいが、はっきりした異常集積を呈しておりPET/CTの診断が有用であった。本症例の如く比較的はっきりした異常集積を呈する胆嚢病変は悪性を疑っての検索が必要と思われた。

図1a　MIP画像

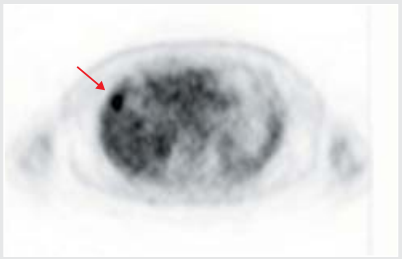


図1b　PET画像

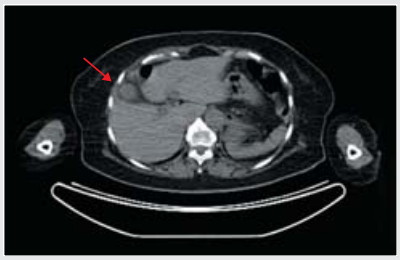


図1c　参照用CT画像

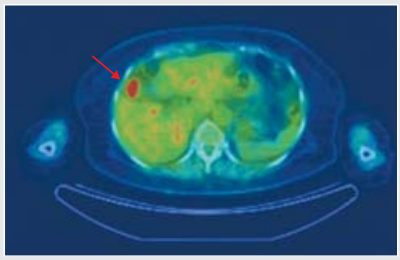
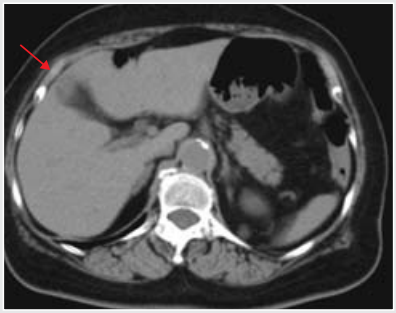
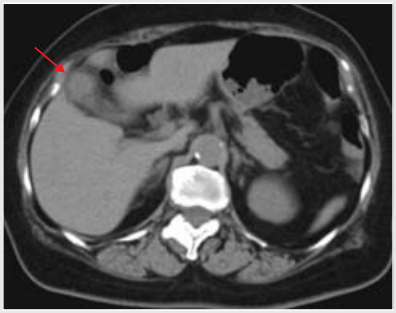


図1d　PET/CT画像





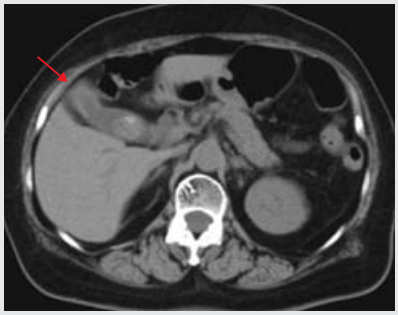


図1e　腹部CT画像

②肝外胆管癌

64歳男性

1．近位超音波検査にて肝門部胆管内にポリープ状腫瘍を指摘される。造影CTにて病変が確認でき、精査のためPET/CTが施行された。

2．肝門部にはっきりした異常集積が確認可能であった（SUVmax=4.40）。SUVは高くないが画像上の大きさに比較しはっきりした異常集積を呈しており悪性疑いの判定となった**（図2a-d）**。

3．造影CT上、肝門部胆管内に約15mm大の淡い濃染域がみられる。胆道通過障害は無く周囲の浸潤傾向もみられない。造影CTのみからは良悪性の判定が難しい**（図2e）**。直後に行われたMRCPでは左肝内胆管起始部内部の小隆起がみられるものの質的診断は困難であった。

4．手術の結果、20×8×15mm大の胆管内乳頭状腫瘍で腺癌であった。リンパ節転移もみられなかった。本症例の場合、PET/CT後約1か月で手術が行われており、迅速な術前診断に寄与したものと思われた。

図2a　MIP画像

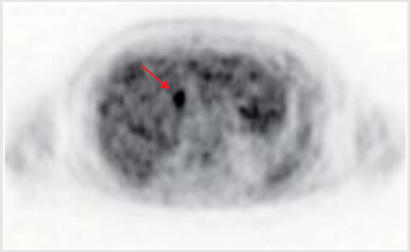


図2b　PET画像

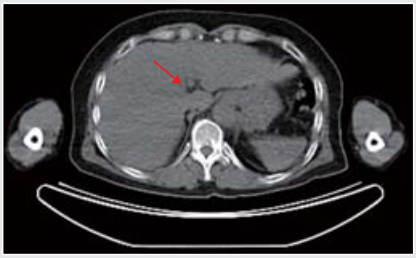


図2c　参照用CT画像

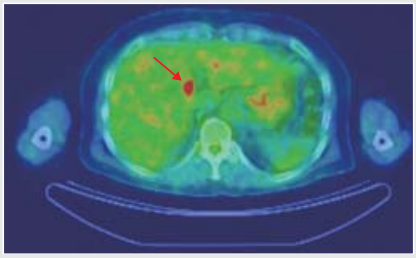


図2d　PET/CT画像

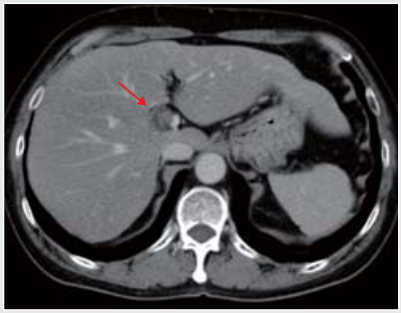


図2e　造影CT画像

③肝外胆管癌

84歳女性

1．黄疸を主訴に来院、造影CTにて上部総胆管に狭窄と壁肥厚がみられたためPET/CTが施行された。

2．中部総胆管（SUVmax=2.89）、胆嚢管（SUVmax=3.86）と思われる部位に異常集積がみられた。両者の前後関係は不明ではあるが悪性腫瘍疑いと判定された。他の部位に異常集積は無く転移は否定的であった**（図3a-d）**。

3．造影CT上、上部総胆管の狭窄がみられ造影効果を伴っている。胆嚢管の肥厚もしくは不定形の軟部陰影がみられ胆嚢腫大を伴っている。CTのみからは炎症でも説明可能な状態であった**（図3e）**。

4．手術の結果、胆嚢頸部、胆嚢管から3管合流部にかけて浸潤する胆管癌であった。肝門部、肝十二指腸靱帯部のリンパ節転移がみられた。本症例は結果的にPET/CT画像が腫瘍の進展を的確に捉えていたと考えられる。文献等にあるように近傍リンパ節の転移の検出は困難であったが、より遠位の転移が無いことより手術適応の判定にも有用であったと考えられる。

図3a　MIP画像

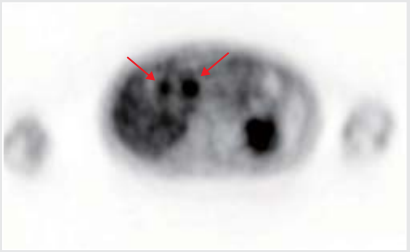


図3b　PET画像

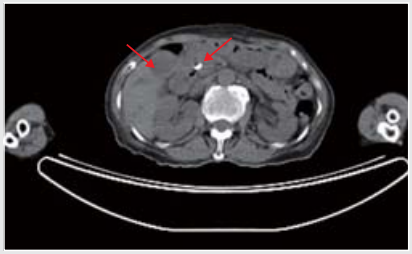


図3c　参照用CT画像

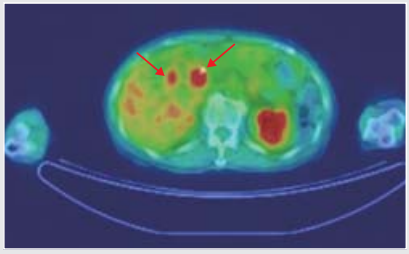


図3d　PET/CT画像

図3e　造影CT画像

④肝内胆管癌

79歳男性

1．胆石で胆摘の既往有り（30年前）。今回近医にてCA19-9 4000U/mL以上と高値を示したためCTを施行、肝腫瘍が疑われた。

2．肝門部から肝左葉中枢側に強い異常集積がみられた（SUVmax=5.19）。参照用CT画像では肝内胆管の拡張がみられた。他の部位に異常集積は無く、肝内胆管癌で転移無しと判定された**（図4a-d）**。

3．造影CT上、肝左葉中枢側の腫瘍が有り、末梢側胆管の拡張を伴うため肝内胆管癌と診断された。腹腔動脈周囲や上腸間膜に有意腫大ではないが他の部位よりリンパ節が目立ち転移無しの断定が困難であった**（図4e）**。

4．手術の結果、腫瘤を形成する肝内胆管癌であった。肝門部、肝十二指腸靱帯部のリンパ節転移がみられたが、より遠位のリンパ節転移や遠隔転移はみつかっていない。本症例においても近傍リンパ節の判定はPET/CT、造影CTともに困難であった。しかしながら腹腔動脈周囲や上腸間膜領域のリンパ節転移がPET/CTにて正しく判定されており諸家の報告と同様であった。PET/CTの術前検査としての有用性が確認できた症例と思われる。

図4a　MIP画像

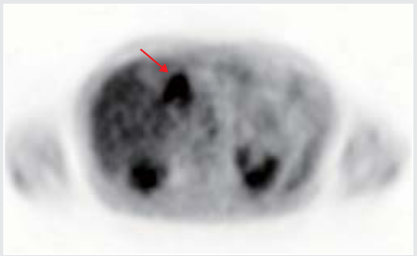


図4b　PET画像

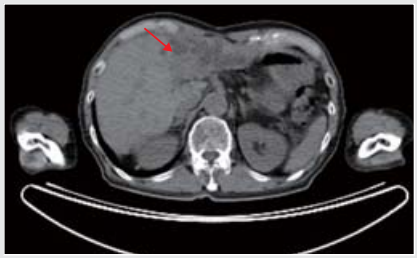


図4c　参照用CT画像

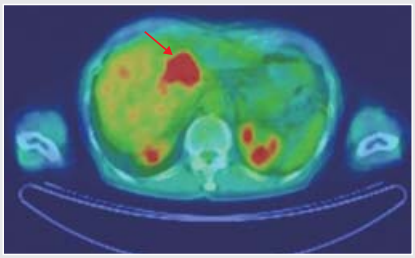


図4d　PET/CT画像

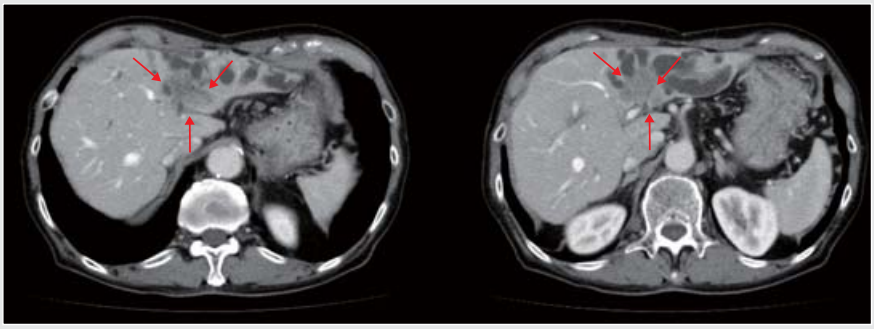


図4e　造影CT画像

PETによる膵臓癌の診断

一般財団法人健康医学協会東都クリニック 放射線科　鈴木 天之

1. 原発巣へのFDG集積

- 膵臓癌の組織型としては浸潤性膵管癌がもっとも多い（約90%）。そのFDG集積は強く、腫瘍の検出と良悪性鑑別が可能である[1)-3)]。膵臓癌の検出感度は90%以上、特異度は80%以上との報告が多い。ただし1～2cm以下の小膵癌へのFDG集積は強くなく[4)]、診断困難なことがある。逆に2cm以上の膵臓癌の検出率は100%という報告もある[5)]。また限局腫瘤状でなく、浸潤性に発育するタイプの癌も診断困難といわれている。
- 膵管内乳頭癌や粘液性嚢胞腺癌などの嚢胞性膵腫瘍では一般的に診断能は良好でない[6)]。特に充実部が少ない場合に診断困難である。
- 膵内分泌腫瘍は強い集積を示すが[7)]、腫瘍のサイズが小さいことが多く、描出能は必ずしも良好でない。造影ダイナミックCTよりも診断能が劣る。
- まれに転移性の膵臓癌もあり、肺小細胞癌の膵臓転移に高集積を示した症例を経験している。
- CA19-9高値のためCTやMRIを施行したが病変が検出できず、PET検査により膵臓癌が発見された症例も経験している。腫瘍マーカー高値の際の病変検索にも使える可能性がある。

2. 転移巣・再発巣へのFDG集積

- N因子の診断への寄与は低いという報告がある（感度20%程度）。これは6～7mm未満の小さなリンパ節転移の検出感度が低く、偽陰性となるためである。
- 遠隔転移の診断[8)]や再発診断には有効で、しばしばCTなどの形態診断で検出できなかった病変が発見される。膵臓癌術後の腫瘍マーカー（CA19-9）高値症例にも有効と思われる。
- 東らによれば[5)]、膵臓癌の肝転移検出の感度62%、特異度97%で、リンパ節転移に関しては感度21%、特異度100%であった。ともに偽陽性が少なく、異常集積があればほぼ転移と考えてよい。

3. 治療効果判定

- 膵臓癌の化学療法や放射線治療の後、腫瘍の縮小が得られるまでには月単位の時間がかかることも多い。PET検査ではCTなどで形態的変化が現れる以前に、治療効果の早期判定が可能である[9)、10)]。化学療法1か月後の集積によって予後予測可能との報告もある。

4. PET診断のポイント

- 糖尿病合併が多く、高血糖のため腫瘍へのFDG集積が不良となり、検出能が低下する恐れがある。血糖値150mg/dL以下のコントロールが望ましい。
- 小病変の検出や良悪性鑑別に遅延像が有用である[11)]。むろん他の部位の癌でも遅延像は有用であるが、経験上特に膵臓癌では遅延像撮像により検出率が上がり有用性が高い。高血糖症例で早期像における病変への集積が乏しい場合にも遅延像の追加が診断能向上に寄与することがある。
- CTなどの形態診断では判断しづらいこともある腫瘤形成性膵炎と膵臓癌の鑑別にPET検査が有効である[1)、4)、12)、13)]。SUVは膵癌6.4±3.6、慢性膵炎3.6±1.7や膵悪性腫瘍5.0±2.3、膵良性病変2.5±1.3などの報告があり、SUVを用いた半定量評価が行われている。ただし両者の値には重なりがあり、完全な良悪性鑑別は難しい[14)]。また活動性の膵炎や自己免疫性膵炎[15)]では比較的強い集積を示すことがあり、偽陽性に注意を要する。

参考文献

1) Bares R, et al. F-18 fluorodeoxyglucose PET in vivo evaluation of pancreatic glucose metabolism for detection of pancreatic cancer. Radiology 1994; 192: 79-86.
2) Ho CL, et al. FDG-PET evaluation of indeterminate pancreatic masses. J Comput Assist Tomogr 1996; 20: 363-369.
3) Pery C, et al. Role and limitations of ^{18}F-FDG positron emission tomography (PET) in the management of patients with pancreatic lesions. Gastroenterol Clin Biol 2010; 34 (8-9): 465-474.
4) Kato T, et al. Fluorodeoxyglucose positron emission tomography in pancreatic cancer: an unsolved problem. Eur J Nucl Med 1995; 22: 32-39.
5) 東 達也, 他. 肝癌、膵癌. クリニカルPETハンドブック, 技術経済研究所（東京）, 2001; 176-184.
6) Sperti C, et al. Value of 18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in the management of patients with cystic tumors of the pancreas. Ann Surg 2001; 234: 675-680.
7) Nakamoto Y, et al. Evaluation of pancreatic islet cell tumors by fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography: comparison with other modalities. Clin Nucl Med 2000; 25: 115-9.
8) Fröhlich A, et al. Detection of liver metastases from pancreatic cancer using FDG-PET. J Nucl Med 1999; 40: 250-255.
9) Bang S, et al. The clinical usefulness of 18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in the differential diagnosis, staging, and response evaluation after concurrent chemoradiotherapy for pancreatic cancer. J Clin Gastroenterol 2006; 40: 923-929.
10) Higashi T, et al. Evaluation of intraoperative radiation therapy for unresectable pancreatic cancer with FDG PET. J Nucl Med 1999; 40: 1424-33.
11) Nakamoto Y, et al. Delayed ^{18}F-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography scan for differentiation between malignant and benign lesions in the pancreas. Cancer 2000; 89: 2547-2554.
12) Stollfuss JC, et al. 2-(fluororine-18)-fluoro-2-deoxy-D-glucose PET in detection of pancreatic cancer: value of quantitative image interpretation. Radiology 1995; 195: 339-344.
13) Zimny M, et al. Fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission

tomography in the differential diagnosis of pancreatic carcinoma: a report of106 cases. Eur J Nucl Med 1997; 24: 678-682.
14) Higashi T, et al. Diagnosis of pancreatic cancer using fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography (FDG PET)-usefulness and limitations in "clinical reality". Ann Nucl Med 2003; 17: 261-279.
15) Nakamoto Y, et al. FDG-PET of autoimmune-related pancreatitis: preliminary results. Eur J Nucl Med 2000; 27: 1835-1838.

症例提示

①膵臓癌の病期診断

72歳、女性。膵臓癌の病期診断目的でPET検査が施行された。
膵体部に結節状の高集積(SUVmax：早期6.0⇒遅延8.6)を認め、膵臓癌の原発巣に相当する。同時に多発肝転移、Virchowリンパ節転移、腹腔内の小さな播種が検出された(**図1a-c**)。
膵臓の原発巣の評価のみでなく、全身の転移巣が一度に把握でき有用であった。

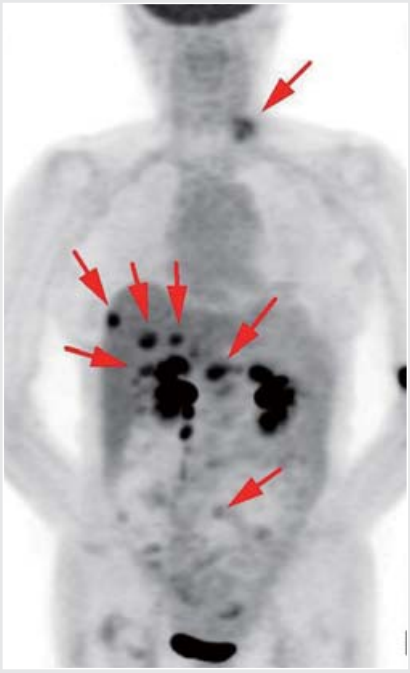


図1a　MIP画像

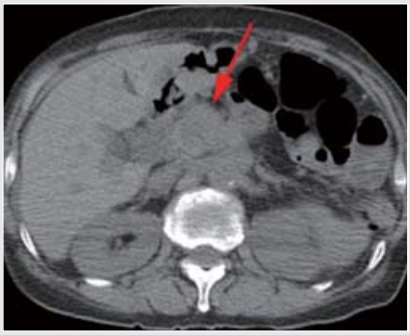
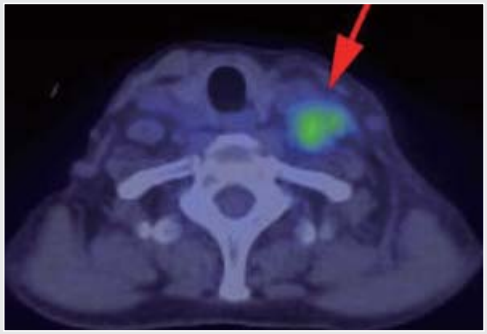
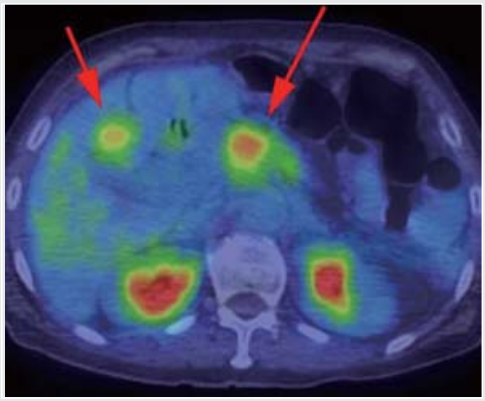


図1b　CT画像





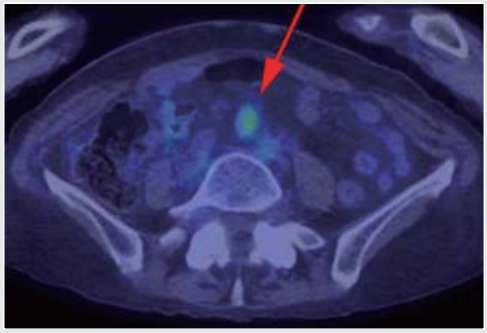


図1c　PET/CT画像

②膵臓癌の病期診断

63歳、男性。背部痛とCA19-9高値（1600）により膵臓癌が疑われ、PET検査が施行された。
膵頭鉤部に腫瘤状の高集積を認め（SUVmax：早期6.8⇒遅延10.9）、さらに腹大動脈前方に小結節状の集積が認められた**（図2a-c）**。膵臓癌とそのリンパ節転移であった。
　CTなどの形態診断では転移かどうかわからない小さなリンパ節の評価が可能であった。

図2a　MIP画像

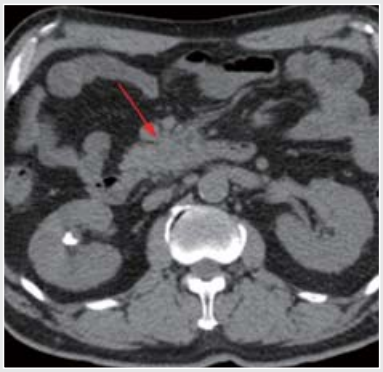


図2b　CT画像

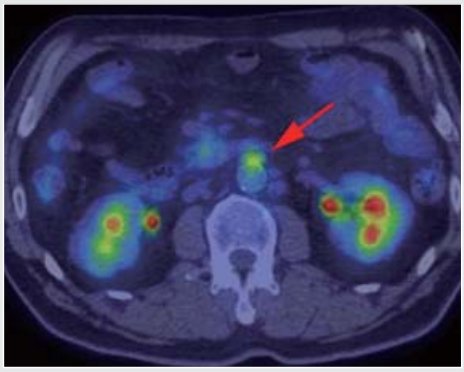
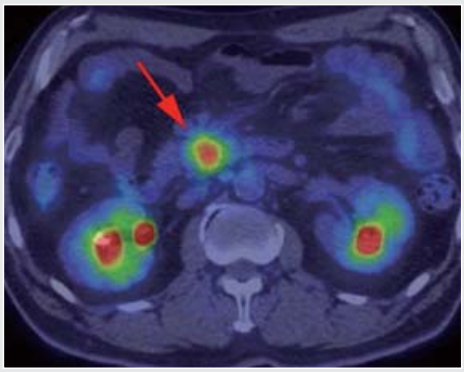



図2c　PET/CT画像

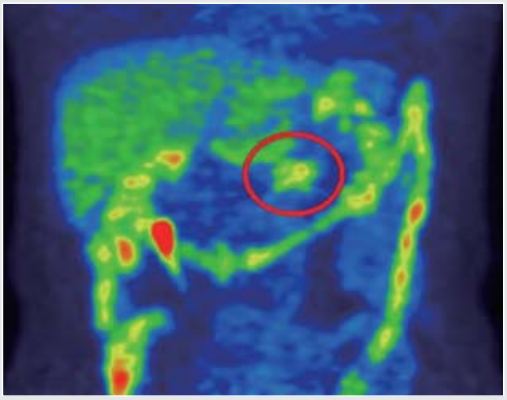
③膵臓癌術後の転移・再発診断

67歳、男性。膵臓癌術後（体尾部と脾切除後）1年半後。CA19-9が100以上に上昇したが、CTやMRIでは再発巣が検出できず、PET検査が施行された。

上腸間膜動静脈の周囲に異常集積を認め、再発巣と考えられた。CTでもよくみると軟部陰影があるようだが、消化管などとの区別が難しかった**（図3a-c）**。

膵臓癌術後の腫瘍マーカー上昇時に、CTやMRIで再発巣の検出が難しい場合にPETが有効なことがある。

図3a　MIP画像



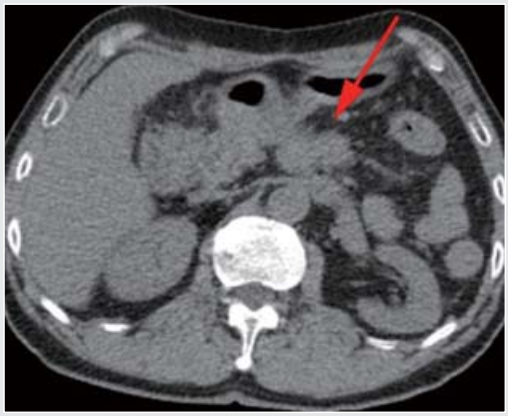


図3b　CT画像

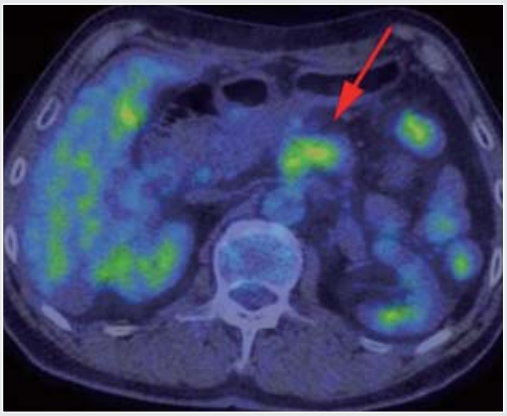


図3c　PET/CT画像

④膵臓癌術後の転移・再発診断：遅延像が有効であった症例

44歳、男性。膵臓癌術後（1年8か月）の経過観察としてPET検査が施行された。
遅延像で上腸間膜動脈起始部左側に結節状の異常集積を認め（SUVmax：4.1）、再発（リンパ節転移）と考えられた。
CTでも小結節像が確認される。早期像では同部の異常集積は不明瞭である**（図4a-d）**。
膵臓癌の原発巣や転移巣の検出に遅延像の追加が有効なことがある（特に小病変の場合）。

図4a　MIP画像（早期像）

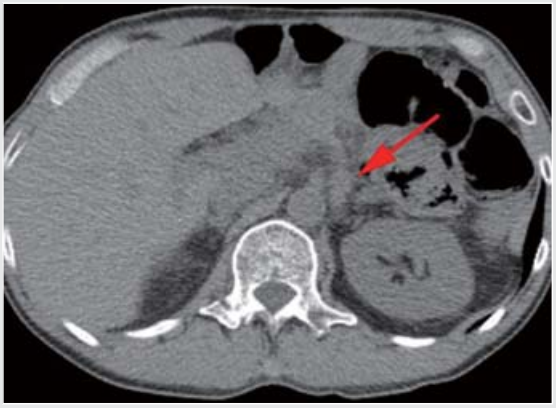


図4c　CT画像

図4b　MIP画像（遅延像）

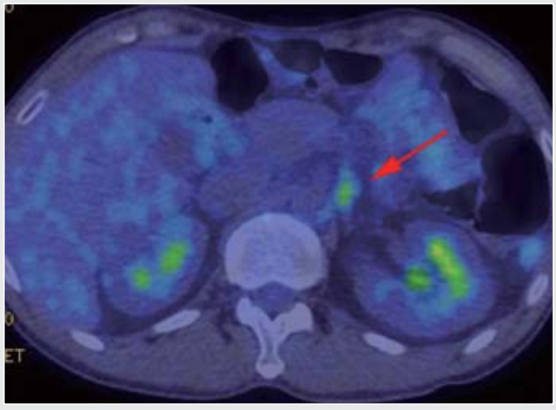


図4d　PET/CT画像

PETによる子宮癌の診断

北里大学医学部 放射線科学画像診断学 浅野 雄二

1. 原発巣の診断

子宮頸癌、子宮体癌ともに原発巣および局所浸潤の程度の診断に関してはPETよりもMRIが優れており、また早期の子宮癌では小病変のため、PETの役割は少ない。

2. 転移・再発巣の診断

PETの有用性が示されるのは、リンパ節転移、遠隔転移および再発診断である。PET/CTを用いた子宮癌の転移・再発診断に関するこれまでの報告を参考にすると、子宮頸癌では感度90～93%、特異度81～100%、正診率87～96%、子宮体癌では感度91～100%、特異度83～100%、正診率92～97%であり、いずれも高い感度、特異度、正診率が得られているが、5mm以下の小病変の検出率は非常に低いと報告されている。

3. PET診断の精度と注意点

生殖可能な年齢の女性では、子宮内膜へのFDG集積は月経周期に伴い、排卵前後および月経期に認められる。従って、子宮癌と診断されていない生殖可能な年齢の女性に、偶発的に子宮内膜にFDG集積が認められた時には、最終月経や月経周期を確認し、生理的な集積か否か診断することが大切である。一方、閉経後の女性の子宮内膜にFDG集積が認められた時には、異常所見として報告する必要があるが、子宮内腔へのFDG集積は悪性腫瘍のみならず、良性病変（内膜の炎症、内膜過形成、内膜ポリープ、pyometria）でも認められることがあり、集積があることが悪性を直ちに意味するものではない。

参考文献
1）巽 光朗. 実践!PET-CT診断. MEDICAL VIEW 2010.
2）北島 一宏. 治療方針に直結する婦人科癌のPET診断. 臨床画像2012; 28: 919-925.
3）Kitajima K, et al. Performance of integrated FDG-PET/contrast-enhanced CT in the diagnosis of recurrent uterine cancer: comparison with PET and enhanced CT. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2009; 36: 362-371.
4）Chung HH, et al. Clinical impact of integrated PET/CT on the management of suspected cervical cancer recurrence. Gynecol Oncol 2007; 104: 529-534.
5）Kitajima K, et al. Performance of FDG-PET/CT for diagnosis of recurrent uterine cervical cancer. Eur Radiol 2008; 18: 2040-2047.
6）Chung HH, et al. The clinical impact of [^{18}F]FDG PET/CT for the management of recurrent endometrial cancer: correlation with clinical and histological findings. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2008; 35: 1081-1088.
7）Park JY, et al. Clinical impact of positron emission tomography or positron emission tomography/computed tomography in the posttherapy surveillance of endometrial carcinoma: evaluation of 88 patients. Int J Gynecol Cancer 2008; 18: 1332-1338.
8）Sharma P, et al. Carcinoma endometrium: role of 18-FDG PET/CT for detection of suspected recurrence. Clin Nucl Med 2012; 37: 649-655.
9）Picchio M, et al. High-grade endometrial cancer: value of [^{18}F]FDG PET/CT in preoperative staging. Nucl Med Commun 2010; 31: 506-512.

症例提示

①月経期の子宮内膜へのFDG集積

患者背景：40歳代。
左乳癌の術前に遠隔転移診断のためPETを施行した。
PET画像と診断所見：MIP画像（**図1a**）では左乳房に局所高度集積が認められ（青矢印）、左乳癌の原発巣への集積と考えられる。その他、左腋窩リンパ節、左鎖骨上窩リンパ節、左頸部リンパ節など複数のリンパ節への集積が認められ（緑矢印）、多発性のリンパ節転移と考えられる。
これら乳癌に関連する集積に加えて、PET/CT画像（**図1c**）では子宮内腔に高度集積が認められる（赤矢印）。問診上、PET施行日は月経中であることが確認ができており、月経期の子宮内膜への集積と考えられた。
ワンポイントアドバイス：子宮癌の診断が得られていない症例で、偶発的に子宮内腔にFDG集積が認められた時には、最終月経や月経周期を考慮し、生理的な集積の可能性もふまえ、診断することが必要である。

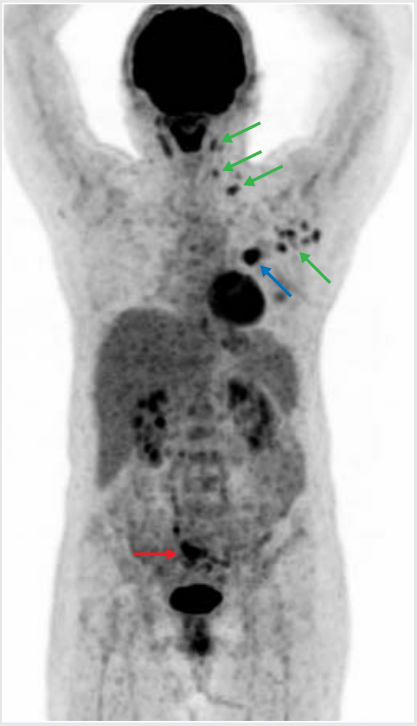


図1a　MIP画像

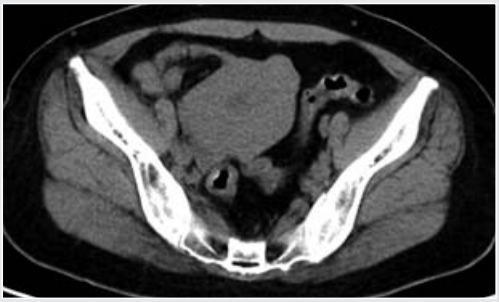


図1b　CT画像

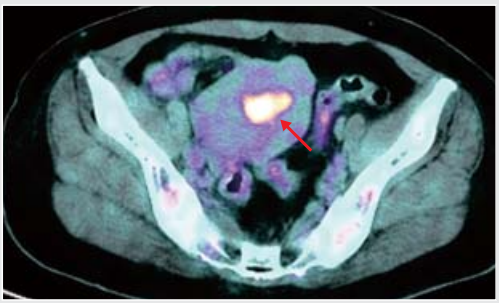


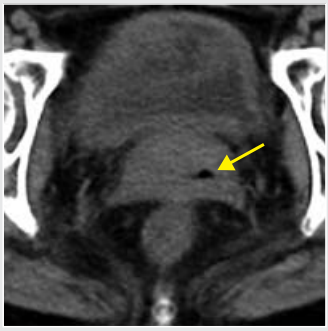
図1c　PET/CT画像

②子宮頸癌化学療法後の転移・再発診断

患者背景：50歳代。
子宮頸癌の放射線治療後、外来にて化学療法で経過観察中。
PET画像と診断所見：60分像**(図2a-c)**および110分像**(図2d-f)**で、子宮頸部および腸間膜リンパ節と考えられる軟部影にFDG集積が認められる（黄矢印）。子宮頸癌の局所再発および腸間膜リンパ節転移と考えられる。
最終診断と考察：PET/CT後、子宮膣部生検で子宮頸癌の再発が確定診断された。その後入院し、化学療法が強化された。子宮の局所のFDG集積は60分像のみでも明瞭であるが、腹部腸管近傍の集積に関しては、追加撮像したことによりリンパ節転移の確診度が上がったと考えられた。
ワンポイントアドバイス：子宮癌を含む、腹部および骨盤部の悪性腫瘍の転移診断で、診断困難な時には積極的に遅延像を撮像することにより、集積の恒常性や、集積部の局在が明瞭となることがあるため、診断に迷うような時には遅延像を撮像することが望ましいと考えられる。

60分像

図2a　MIP画像



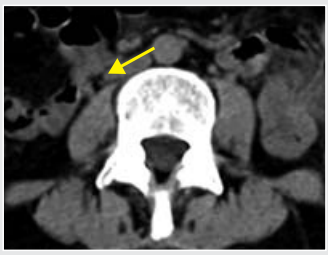
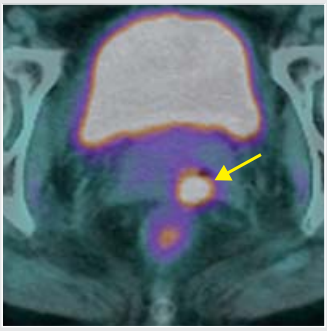


図2b　CT画像



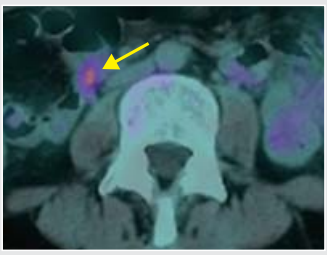


図2c　PET/CT画像

110分像

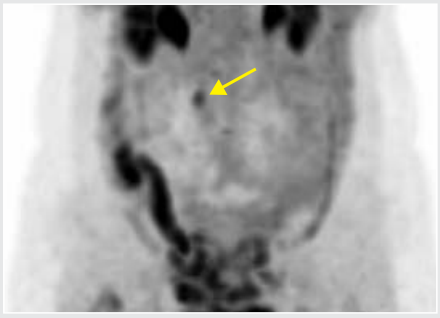
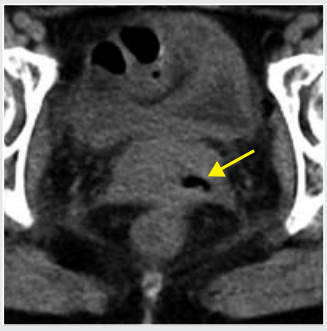


図2d　MIP画像



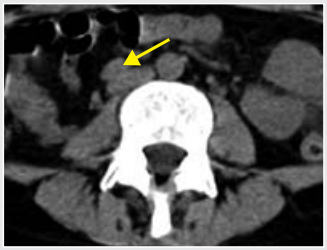
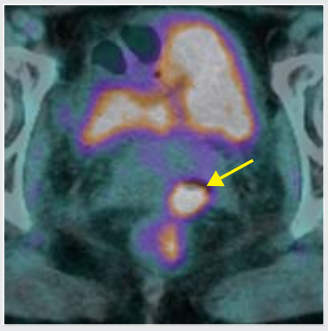


図2e　CT画像



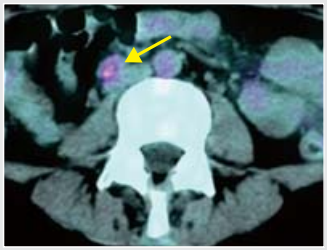


図2f　PET/CT画像

③子宮頸癌放射線治療後の転移・再発診断

患者背景：60歳代。
子宮頸癌放射線治療後、外来で化学療法後、１か月おきに採血したSCCの値が、1.7→4.7→9.7と漸増し、局所再発や遠隔転移が疑われたため、PETを施行した。

PET画像と診断所見：腫大した子宮頸部および両側外腸骨リンパ節にFDG集積が認められ**（図3a-c）**、子宮頸癌の局所再発および両側外腸骨リンパ節転移と考えられた。

最終診断と考察：本症例は放射線治療終了後、約3か月後から約5か月後にかけて腫瘍マーカーが漸増したため、再発が疑われ、約5か月後にPETを施行した症例である。放射線治療後、早期（3か月以内）には、放射線照射部位にはFDG集積を認めることが多く、放射線治療後、早期に行ったPETで放射線照射部位にFDG集積が認められた時には、再発とは断言できず、治療の影響も考慮しなければならない。また本症例では、局所集積に加え、リンパ節への高度集積が認められることから、局所再発および両側外腸骨リンパ節転移と診断し、このPETの結果から化学療法が強化された。

ワンポイントアドバイス：放射線治療後、早期には照射部位に局所集積増加が認められることがあるため、この期間の局所再発診断にはPET検査は避けるべきである。この期間にPETが施行された時には、局所FDG集積に関しては、治療の影響もあると考慮しながら、遠隔転移の有無を精査することが大切である。

図3a　MIP画像

図3b　CT画像

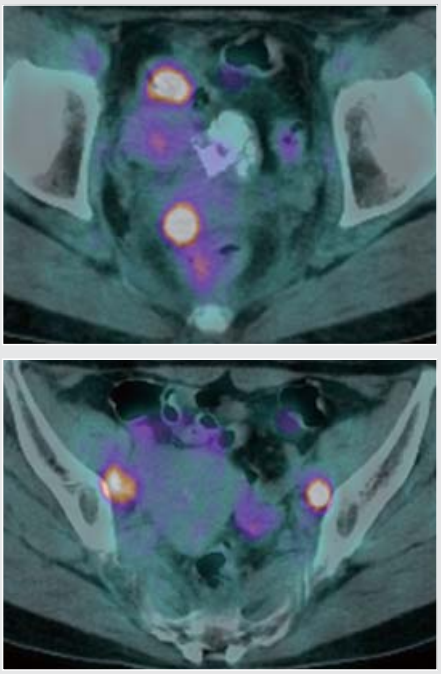


図3c　PET/CT画像

④子宮体癌の転移・再発診断および治療効果判定

患者背景：60歳代。
子宮体癌で、子宮全摘、両側付属器切除、骨盤内リンパ節郭清後、化学療法を繰り返し行っていた。CA19-9が67と上昇したため、PETを施行した。

PET画像と診断所見：MIP画像（**図4a**）では肝両葉に多発性に集積増加域が認められ、多発性肝転移と考えられ（赤矢印）、左鼠径リンパ節にも集積増加が認められ（青矢印）、リンパ節転移と考えられた。胸部CT画像（**図4b**）上、多発性の小結節影が認められるが、胸部PET画像（**図4c**）では大きさが小さく過小評価となっている可能性もある。この結果、追加化学療法を行い、治療効果判定のため、治療後PETを施行した。結節影へのFDG集積は明らかではないが、化学療法後のPETでは、肝両葉に多発性に認められたFDG集積および左鼠径リンパ節へのFDG集積はほぼ消失しており、化学療法が奏功したと考えられる（**図4d**）。

参考となる他の画像と診断所見：化学療法前のPET/CTのCT画像で両側肺野に認められた結節影は、化学療法後に縮小もしくは消失している（**図4e**）。化学療法前後で結節影に明らかな集積が認められないものの、経過から化学療法による肺転移の結節影の縮小と考えられる。

最終診断と考察：再発が疑われ、PETで肝臓と鼠径リンパ節に転移が認められ、この所見をもとに、化学療法が強化され、化学療法の効果判定のためにPET/CTを行った。治療前に認められた、肝臓と鼠径リンパ節への集積がほぼ消失し、肝転移と鼠径リンパ節転移の治療効果が比較的簡便に判定できた症例である。しかし、化学療法前に多発性肺転移と考えられた小結節影にはFDG集積は認められず、FDG集積の有無や程度からのみでは肺転移の診断は困難であった。PET/CTは全身像を一回の検査で行えること、また本症例のように再発巣の診断や治療前にPET/CTを行うことで、治療後に全身転移巣の効果判定を行えるなど臨床的に有用な検査である。しかし、小病変に関しては転移巣と考えられても、FDG集積が明らかでないことに注意し、CT画像も注意深く診断する必要があると考えられる。

ワンポイントアドバイス：子宮癌が、骨盤腔、傍大動脈リンパ節を越えて全身に転移した場合、PETにおいて高度なFDG集積が認められる時には、転移診断の評価が比較的簡便である。しかし、肺転移など、病変が非常に小さい時には、FDG集積が明らかでなくても転移巣と考えられるため、FDGの集積部はもちろんのことPET/CTで得られたCT画像も注意深く診断する必要があると考えられる。

化学療法前

図4a　MIP画像

図4b　胸部CT画像

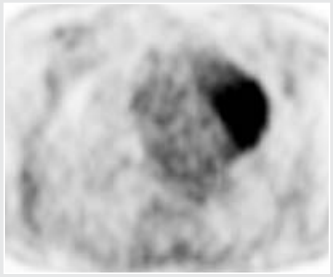


図4c　胸部PET画像

化学療法後

図4d　MIP画像

図4e　胸部CT画像

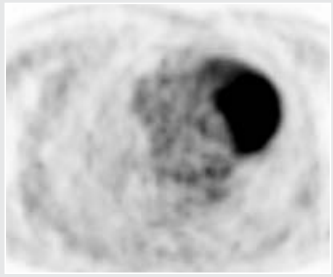


図4f　胸部PET画像

⑤子宮体癌の局所再発診断

患者背景：50歳代。
子宮体癌で、子宮全摘、両側付属器切除、骨盤内リンパ節郭清、化学療法後、外来経過観察中、再発が疑われ、PET、骨盤部のMRIを施行した。

PET画像と診断所見：子宮の断端から膣部に高度FDG集積が認められ、局所再発が考えられる。また傍大動脈リンパ節と考えられる軟部腫瘤に高度FDG集積が認められ、傍大動脈リンパ節転移と考えられる**（図5a-c）**。

参考となる他の画像と診断所見：MRIで膣前壁に腫瘤が認められT2強調画像で周囲筋肉よりも高信号を示し、造影効果が認められる**（図5d, e）**。周囲臓器とのコントラストが高く、局所再発と考えられる部位の広がりがPETよりも明瞭である。

最終診断と考察：本症例ではPETとMRIが2週間以内の近接した期間で行われている。MRIは、PETに比較して、局所再発巣の広がりが明瞭に信号変化として認められる。しかし、撮像範囲が異なることから、PETでは、局所再発に加え、傍大動脈リンパ節転移を診断することができた。局所再発に加えて、遠隔転移の有無はその後の治療方針に大きく影響すると考えられ、本症例においてもPETは治療方針決定に大きな役割を果たしていると考えられる。

ワンポイントアドバイス：子宮癌の術後の診断では、局所再発の集積部が、生理的な尿中排泄の影響もあり、進展部位の特定が困難なこともある。そのような場合には本症例のようにMRI画像を参照に診断することも可能であるが、局所に関しては、画像診断のみならず、診察所見などが重要なため、他検査との対比や、必要と考えられる検査を行って下さいなどの提案が重要であると考えられる。局所再発巣の進展をPETで時間をかけて診断するよりも遠隔転移を見逃さないことが重要であると考えられる。

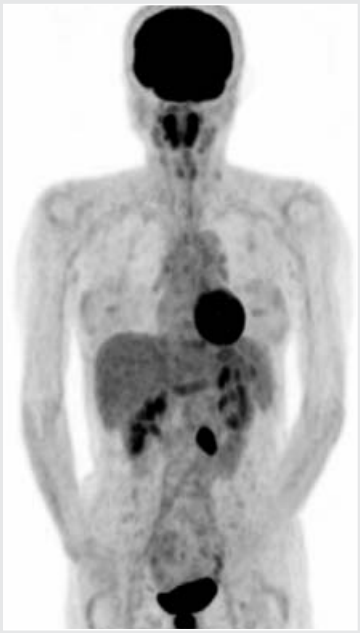
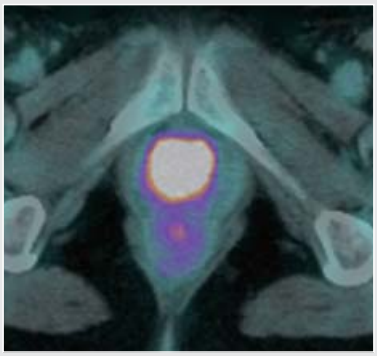


図5a　MIP画像

図5b　CT画像



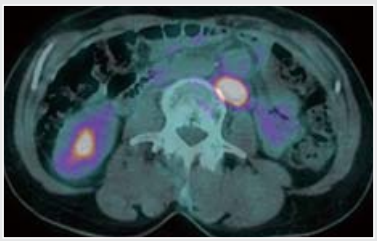


図5c　PET/CT画像

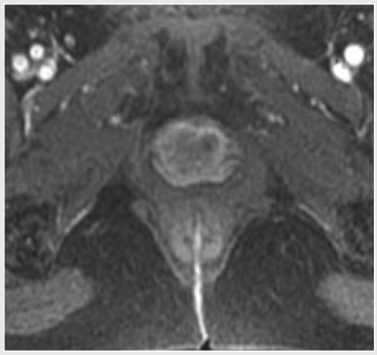


図5d　造影MRI画像

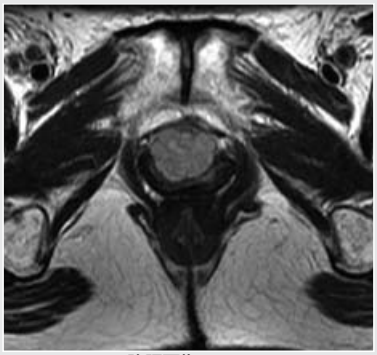


図5e　MRI T2強調画像

PETによる卵巣癌の診断

京都府立医科大学大学院医学研究科 放射線診断治療学　奥山 智緒

1. 原発巣へのFDG集積

卵巣には、多種多様な腫瘍が発生する。病理学的に、その発生母地から表層上皮性・間質性腫瘍、性索間質性腫瘍、胚細胞腫瘍、その他（肉腫やリンパ腫、転移性腫瘍を含む）に大別され、それぞれのグループにおいて、良性腫瘍、境界悪性腫瘍、悪性腫瘍に分類される[1]。

卵巣腫瘍の診断は、その形態（嚢胞性（単胞性、多胞性）か充実性、MRIにおける信号の特徴）や年齢、腫瘍マーカーからその組織型を推定することに始まる。嚢胞形成を伴う卵巣腫瘍において悪性では壁在結節や充実性構造を伴うことが多くMRI診断上のポイントとなる[2]。FDGの集積程度は充実性成分の体積に左右されやすく、充実性成分が小さい場合には悪性でも集積が明瞭でなく、原発巣の検出感度は52～58%である[4]。一方、悪性腫瘍では境界悪性腫瘍よりも強い集積を呈し、上皮性癌においては術前の原発巣のSUVが高いものほど再発しやすい傾向にある[3]。卵巣腫瘍の組織型の推定や良悪性の鑑別においてはMRIを軸に据え補助的にFDG集積を参照することが望ましい（**図1～図3**）。

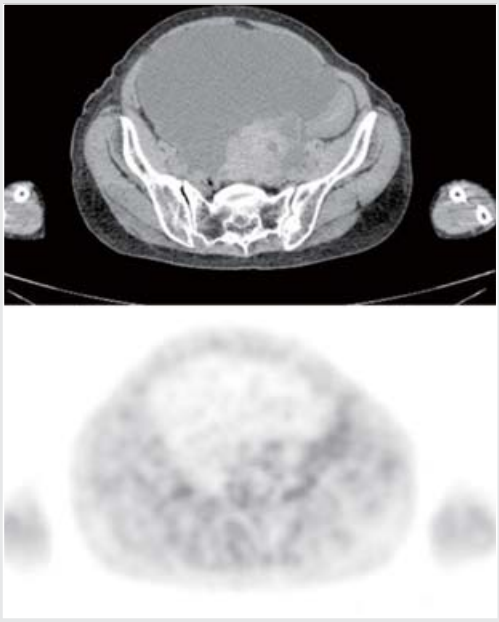


図2 Mucinous borderline tumor
嚢胞性腫瘍の後壁に充実性成分を認めるが、FDG集積は軽度である。

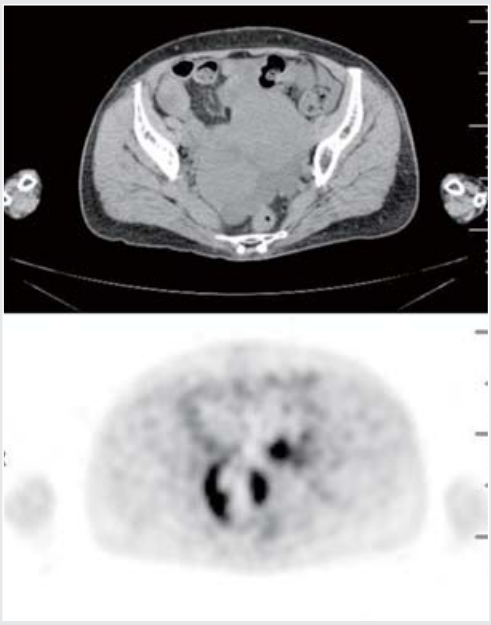


図1 両側のserous cystadenocarcinoma
嚢胞性腫瘍の辺縁の充実性部分に強いFDG集積が認められる。

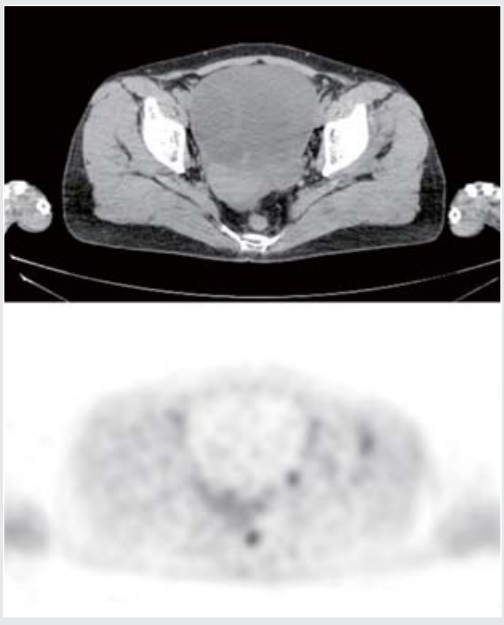


図3 Mucinous serous cystadenoma
隔壁を有する嚢胞性腫瘍であるが、明らかな壁在結節は指摘できず、有意なFDG集積も認められない。

2. 転移・再発巣へのFDG集積

卵巣癌は、腹腔内リンパ節転移や腹膜播種をきたしやすく、さらに横隔膜上部のリンパ節への転移や肝臓や肺など他臓器転移をきたしやすい。これらの中で特に横隔膜上部のリンパ節や遠隔転移、さらには腹膜播種の検出において、PETは重要な役割を果たす。PET/CTではさらにFDG集積部位の形態画像情報が加わるため病変検出における感度、特異度は上昇し、CTやMRIでは指摘されていなかった病巣描出により、正確な病期診断を行うことができ、治療方針の決定に寄与する[7),8)]。

3. PET診断の精度と注意点

生殖可能年齢における子宮付属器のFDG集積は生理的に変動し、排卵期には片側（時に両側）卵巣に明瞭なFDG集積を認める。骨盤内には、他にも尿管や消化管の生理的集積がみられることも多い。診断の際には、PET/CTのCT画像や事前に撮像されている造影CT、MRIなどの形態画像を注意深く参照することに加えて、最終月経日など月経周期の確認を行うことも重要である。卵巣癌の腹膜播種性病変はしばしば限局性であり、腸管壁外側に存在する病変では形態画像を参照しても異常を捉えにくく、腸管の生理的集積との鑑別が困難となる場合がある。病変の場合には恒常的な限局性集積を確認できるが、腸管の生理的集積の場合には形態が変化することが多く、後期像の追加撮像が両者の鑑別に寄与する。

参考文献

1）日本産科婦人科学会・日本病理学会/編. 卵巣腫瘍取扱い規約 第1部 組織分類ならびにカラーアトラス. 2009年12月（第2版）. 金原出版.
2）今岡 いずみ, 田中 優美子. 婦人科MRIアトラス（画像診断別冊 KEY BOOKシリーズ）2004; 秀潤社.
3）Chung HH, et al. Preoperative [^{18}F]FDG PET/CT predicts recurrence in patients with epithelial ovarian cancer. J Gynecol Oncol 2012; 23: 28-34.
4）Lyer VR, et al. MRI, CT, and PET/CT for ovarian cancer detection and adnexal lesion characterization. AJR Am J Roentgenol 2010; 194: 311-321.
5）Kuyumcuoğlu U, et al. ^{18}F-FDG PET-CT and USG/CT in benign and malignant ovarian tumors with postoperative histopathological correlation. Ginekol Pol 2011; 82: 602-606.
6）Fuccio C, et al. Noninvasive and invasive staging of ovarian cancer: review of the literature. Clin Nucl Med 2011; 36: 889-893.
7）Kumar Dhingra V, et al. Impact of FDG-PET and PET/CT imaging in the clinical decision-making of ovarian carcinoma: an evidence-based approach. Womens Health (Lond Engl) 2012; 8: 191-203.
8）Antunovic L, et al. Revisiting the clinical value of ^{18}F-FDG PET/CT in detection of recurrent epithelial ovarian carcinomas: correlation with histology, serum CA-125 assay, and conventional radiological modalities. Clin Nucl Med 2012; 37: e184-188.
9）Son H, et al. Role of FDG PET/CT in staging of recurrent ovarian cancer. Radiographics 2011; 31: 569-583.

症例提示

①卵巣癌原発巣へのFDG集積（典型例）

1. 患者背景：50歳代。
1か月前より下腹部に張りを自覚。

2. MRI所見と血清腫瘍マーカー：骨盤内に長径13mmの嚢胞性腫瘤を認める。T2強調画像で背側壁、前壁左側に壁在結節、右側に限局性の壁肥厚を認め**（図4a）**、拡散強調画像で高信号を呈する。血清CA19-9 509.1、CA125 46.3。

3. PET画像と診断所見
腫瘤の中央部の嚢胞性成分には集積を認めないが、壁在結節部には明瞭な集積を認め（矢頭部）、悪性を疑う**（図4b）**。腫瘤の左前方の集積（矢印部）は大腸の生理的集積と考える。リンパ節転移や遠隔転移を疑う所見は認めない。

4. 最終診断と考察
子宮全摘出、両側付属器切除、大網切除、リンパ節摘出にて、左卵巣clear cell adenocarcinoma、N0と診断された。卵巣癌は本例のように嚢胞を形成する場合が多く、一部に存在する充実性成分に一致して高集積を示すことが特徴である。

図4a　MRI T2強調画像

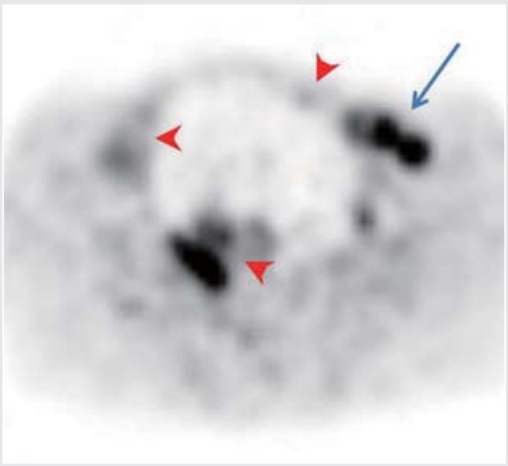


図4b　PET画像

②卵巣癌の病期診断

1. **患者背景**：60歳代。半年前より腹部膨満感を自覚し、徐々に腹痛が出現。
2. **PET画像と診断所見**：骨盤内に不整形の集積がみられ**(図5a)**、多胞性腫瘤の充実性部分に一致した高集積を呈する（画像未掲）。骨盤内リンパ節転移、腹部傍大動脈リンパ節転移のほか、肝臓内や肝鎌状間膜内の播種性結節**(図5b)**、大網への播種性結節**(図5c)**、左腸骨**(図5d)**などに多発hot spotが認められ、肝転移、腹膜播種、骨転移と考えられた。
3. **他の検査所見**：血清CEA17.3、CA19-9 511.6、CA125 3211.9、腹水中の腫瘍マーカーも異常高値。
4. **最終診断と考察**：化学療法を施行後に試験開腹にて両側卵巣腫瘍が摘出されserous cystadenocarcinoma with clear cell adenocarcinomatous componentと診断。骨転移、肝転移、腹膜播種があり、その後も化学療法されている。腹水の明らかなFDG集積は指摘できなかった。細胞密度の低い癌性腹水は時に偽陰性となる。骨病変はCT上異常を指摘できないこともあり初期の骨転移の検出にPETが有用である。

図5a　MIP画像

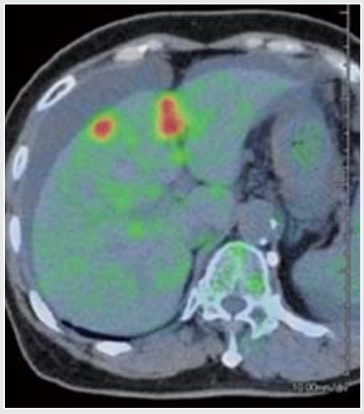


図5b　PET/CT画像

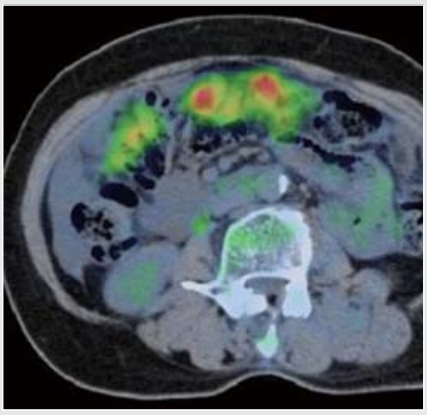


図5c　PET/CT画像

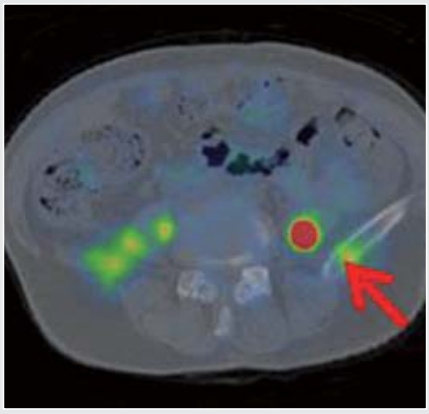


図5d　PET/CT画像

③卵巣癌の化学療法の効果判定

1. **患者背景**：60歳代。2年前に発症したserous cystadenocarcinoma。化学療法を施行後、骨盤内腫瘍切除、両側卵巣切除、大網切除、腹部傍大動脈リンパ節郭清を施行。その後、化学療法を繰り返していた。CA72-4が12.0と上昇しPET/CTを施行。
2. **PET画像と診断所見**：MIP画像**(図6a)**では左鎖骨上窩、腹部傍大動脈に明瞭なhot spot（青矢印）を認め、左尿管狭窄をきたしている。上腹部に2個の小さなhot spotがみられ、黄矢頭部は下大静脈横**(図6b)**、赤矢頭部は横隔膜脚後部**(図6c)**のリンパ節（いずれも1cm未満）と判断された。
3. **その他の所見**：本例では発症時に伴っていた大量の腹水が化学療法後に減量するも、肝表面に被包化された腹水が継続して残存していた**(図6b、図6c)**。一部辺縁に結節を認め播種性結節の残存が疑われていたがFDG集積は認めず同部に活動性病変はないと判断できた。
4. **最終診断と考察**：本例では、再度強化化学療法が施行され、その後病変の消失が確認された。形態画像診断のクライテリアを満たさない小さなリンパ節の検出にPETが有用である。

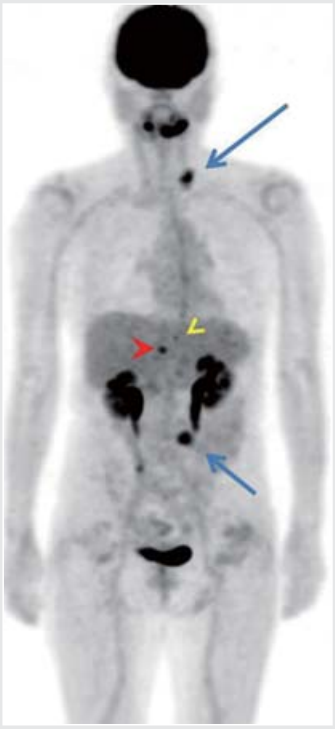


図6a　MIP画像

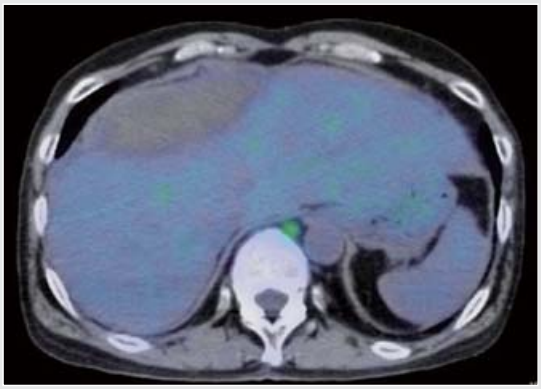


図6b　PET/CT画像

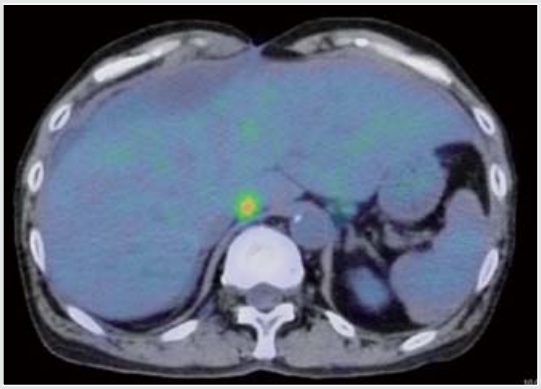


図6c　PET/CT画像

④卵巣癌の化学療法の効果判定

1. **患者背景**：70歳代。3年前にserous papillary cystadenocarcinomaに対し、化学療法施行後に単純子宮全摘+両側付属器切除+大網切除を施行（pT3N0M0）。術後数回イレウスを繰り返していた。
2. **PET画像と診断所見**：CA125の上昇を認めPETが施行された。60分像**（図7a）**、120分像**（図7b）**にて、肝表面や腹部に複数の恒常性のあるhot spotsが確認される。PET/CT画像では腹腔内や、大腸壁に接した部位に集積が確認され**（図7c）**、左尿管狭窄部の腫瘍と同様の多発腹膜播種結節と診断できる。
3. **他の検査所見**：左下位尿管を巻き込む再発軟部腫瘤のため1年前よりdouble Jステントを留置されていたが、他の部位の腫瘤は認識されていなかった。
4. **最終診断と考察**
   PET/CTの結果をもとに、化学療法が強化された。卵巣癌は腹膜播種をきたしやすい。腹水を伴わない播種性結節が肝表面や腸管壁に接して存在する場合、形態画像では生理的集積の鑑別が難しい。腹部の小結節へのFDG集積は追加撮像で恒常性を確認することで生理的集積を除外するのがよい。

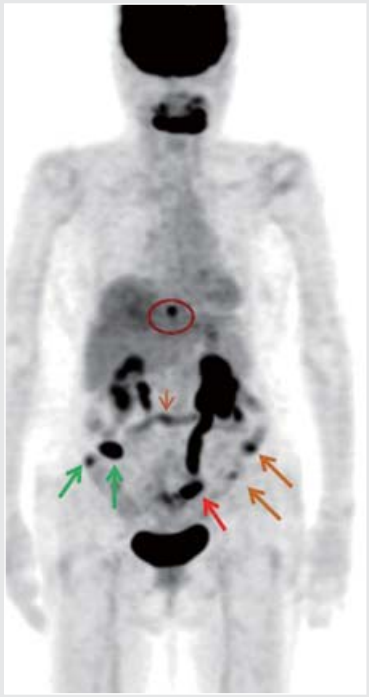


図7a　PET画像（60分像）

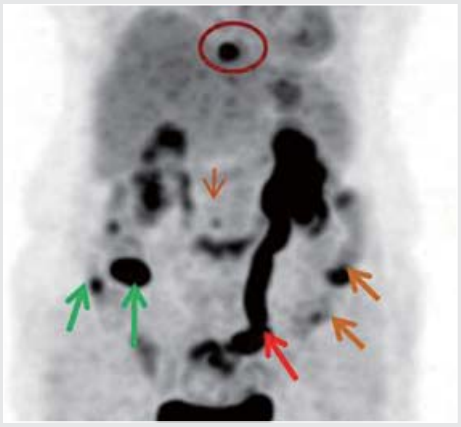


図7b　PET画像（120分像）

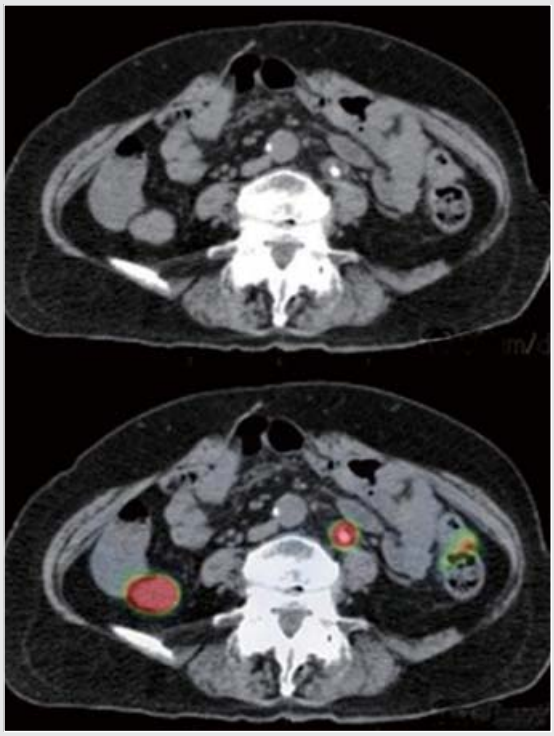


図7c　CT画像（上段）
PET/CT画像（下段）

PETによる尿路上皮癌・前立腺癌の診断

国立病院機構東京医療センター 放射線科 戸矢 和仁

Ⅰ. 尿路上皮癌

1. 原発巣へのFDG集積

尿路上皮癌はその移行上皮粘膜より発生する悪性腫瘍で、その粘膜を有する腎盂・尿管・前立腺部尿道、膀胱といった尿路に多重、再発することが多い[1)-3)]。FDGが尿へ排出されるため、その集積の影響で尿路上皮癌での原発巣の診断にPETはあまり有用とされていなかった[4)]。このように限界もあるが、PET/CTの登場により有用性の報告が増えている[5)-7)]。しかし、腫瘍が小さく、粘膜や壁に限局している場合は検出が難しい[7)]。慢性腎不全の場合は、尿が排泄されないので検出に有利であり、感度と病理学的なグレードや病期に相関関係があるとされる[7)]。PET/CTでの感度は67～87.5%、特異度25～97%と幅がある[7),8)]。

2. 転移・再発巣へのFDG集積

PETにおける転移の感度は57～77%、特異度は97～100%とされている[7),9)]。

3. PET診断の精度と注意点

最近は、経口水負荷やフロセミドなどの利尿剤投与による遅延相の撮影にて排泄されたFDG集積を低下させる試みもなされ、その有用性が報告されている[8),10)-12)]。しかし、まだその最適な方法が確立しておらず、今後の解析が待たれる。さらに、偽陽性についてもまだ十分に解明されていないが、炎症による偽陽性例も経験されるので、注意が必要である。PET/MRIが普及すれば、原発巣の診断精度はより向上すると推測される。

4. PET検査の位置づけ

病期診断の目的に有用であり、従来の画像に付加することにより転移の検出感度が高まり、病期が変更され、その治療方針にも影響を与えることがある[5),6)]。さらには治療後の再発の検索、化学療法や放射線治療による効果判定にも期待されている[7),9)]。

参考文献
1) Lynch CF, et al. Urinary system. Cancer 1995; 75(1suppl): 316-329.
2) Habuchi T. Origin of multifocal carcinomas of the bladder and upper urinary tract : molecular analysis and clinical implications. Int J Urol 2005; 12(8): 709-716.
3) Vikram R, et al. Imaging and staging of transitional cell carcinoma: part 1, lower urinary tract. AJR Am J Roentgenol 2009; 192(6): 1481-1487.
4) Schöder H, et al. Positron emission tomography for prostate, bladder, and renal cancer. Semin Nucl Med 2004; 34: 274-292.
5) Drieskens O, et al. FDG-PET for preoperative staging of bladder cancer. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2005; 32: 1412-1417.
6) Jadvar H, et al. [F-18]-fluorodeoxyglucose PET and PET-CT in diagnostic imaging evaluation of locally recurrent and metastatic bladder transitional cell carcinoma. Int J Clin Oncol 2008; 13: 42-47.
7) Patil VV, et al. ^{18}F-FDG PET/CT of transitional cell carcinoma. AJR Am J Roentgenol 2009; 193: W497-504.
8) 戸矢 和仁, 他. 尿路上皮癌におけるFDG-PET/CT所見. 臨床放射線 2012; 57(12): 1697-1702.
9) Liu IJ, et al. Evaluation of fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging in metastatic transitional cell carcinoma with and without prior chemotherapy. Urol Int 2006; 77: 69-75.
10) Anjos DA, et al. ^{18}F-FDG PET/CT delayed images after diuretic for restaging invasive bladder cancer. J Nucl Med 2007; 48: 764-770.
11) Palou J, et al. Urothelial cell carcinoma in upper urinary tract -role of PET Imaging. Imaging in Oncological Urology. Springer; 2009. p.155-160.
12) Harkirat S, et al. Forced diuresis and dual-phase ^{18}F-fluorodeoxyglucose-PET/CT scan for restaging of urinary bladder cancers. Indian J Radiol Imaging 2010; 20(1): 13-19.

症例提示

①尿管癌

70歳代後半、男性。

主訴：肉眼的血尿。

経過：主訴にて医療施設を受診し、左尿管腫瘍による左水腎症を指摘され、尿管鏡で左尿管に腫瘤を認め、左腎尿管切除が施行された。

画像：MIP正面画像**(図1a)**、PET/CT水平断画像**(図1b)**、PET/CT矢状断画像**(図1c)**で、左下部尿管につながるようなSUVmax=15.9の強い異常集積（赤矢印）が認められ、左尿管に指摘されている病変に一致している。

切除標本：**図1d**では、下部尿管に充満する腫瘍性病変（赤矢印）を認める。

病理（HE染色）：**図1e**では、核異型高度な細胞の充実性増殖を認め、尿路上皮癌Grade3の所見である。

最終診断：左尿管癌。

考察：尿管腫瘍による左水腎症の長期慢性化にて左腎からは尿が十分に排泄されておらず、尿の集積の影響をあまり受けずに腫瘍へのFDG集積が明瞭に描出されたと思われる。

図1a　MIP正面画像

図1b　PET/CT水平断画像

図1c　PET/CT矢状断画像

図1d　切除標本

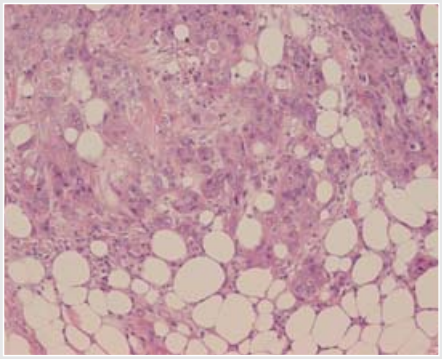


図1e　病理組織像（HE染色）

②腎盂癌とリンパ節転移

70歳代前半、男性。

主訴：顕微鏡的血尿。

経過：主訴にて医療施設を受診し、右腎盂に病変を指摘され、逆行性腎盂造影が施行され、その際の尿細胞診はclassVであった。右腎尿管切除・膀胱部分切除が施行された。

画像：MIP正面画像（**図2a**）およびPET/CT水平断画像（**図2b**）で、右腎の腎盂腎杯を占拠する病変に一致したSUVmax約9.1の強い異常集積が認められる（赤矢印）。右腎門上部の腫大リンパ節にもFDGの取り込みが認められる（黒三角）。

病理（HE染色）：**図2c**では右腎実質内に広く浸潤していたのは、核の多形性が高度で異型の強い腫瘍細胞からなるGrade3相当の尿路上皮癌の成分が主体であった。

最終診断：右腎盂癌とそのリンパ節転移。

考察：右水腎症のために尿が十分に排泄されておらず、尿の集積の影響をうけずに腫瘍へのFDG集積が明瞭に描出されたと思われる。

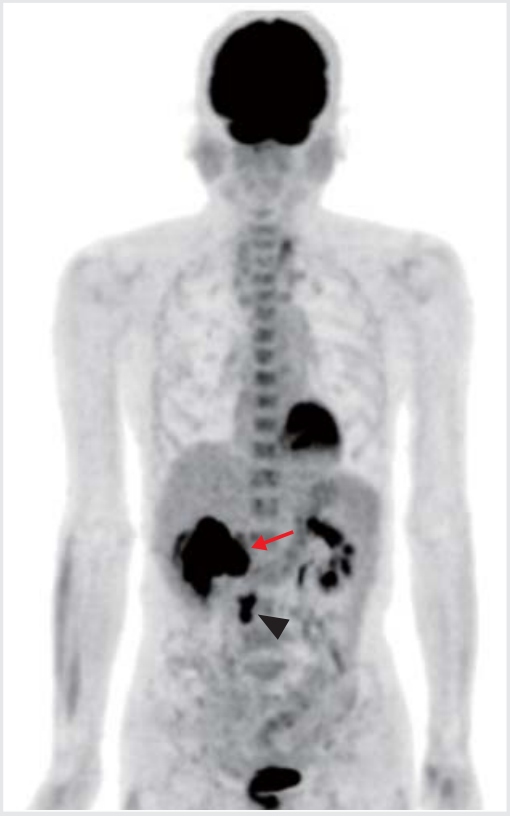


図2a　MIP正面画像

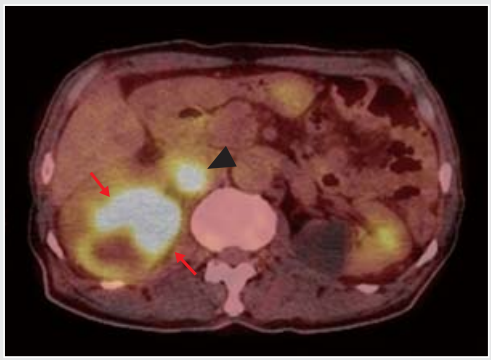


図2b　PET/CT水平断画像

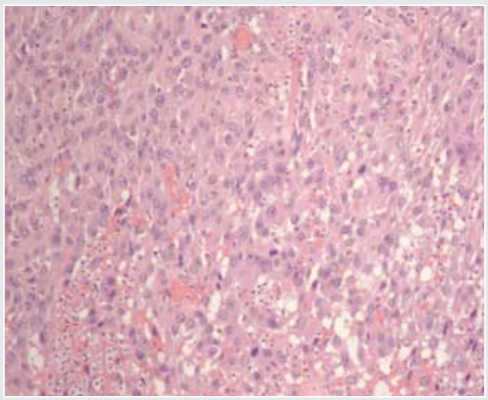


図2c　病理組織像（HE染色）

③膀胱癌

80歳代前半、女性。
主訴：肉眼的血尿。
経過：主訴にて医療施設を受診し、尿細胞診classⅢbであったため、膀胱鏡が施行され、膀胱左側に腫瘤病変を指摘された。経尿道的膀胱腫瘍切除が施行された。
画像：単純CT水平断画像（**図3a**）にて膀胱左側に乳頭状腫瘤病変を認める（赤矢印）。PET/CT水平断画像の早期相（**図3b**）で、膀胱内の尿への集積にて腫瘍の同定は困難である。しかし、PET/CT水平断画像の遅延相（**図3c**）で**図3a**の単純CTでみられる腫瘤に一致してSUVmax約18の強い異常集積が認められる（赤矢印）。腹部のMIP正面画像（**図3d**）で膀胱に指摘された腫瘤への異常集積が確認できる（赤矢印）。
病理（HE染色）：**図3e**では全体に核の腫大した異型の目立つGrade3相当の腫瘍細胞の所見で、粘膜内に進展し、血管間質を茎として乳頭状に増殖する尿路上皮癌であった。
最終診断：膀胱癌。
考察：通常の撮影法では尿の集積の影響で膀胱癌を描出することは難しいが、利尿剤投与および経口水負荷による遅延相を撮影すると検出されうる。

図3a　単純CT水平断画像

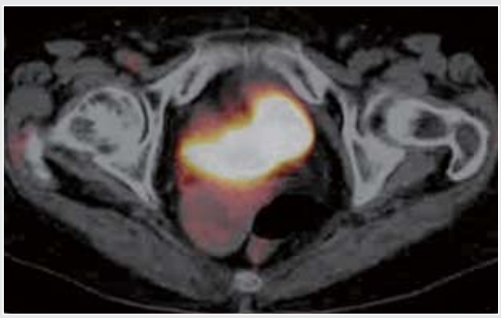


図3b　PET/CT水平断画像の早期相

図3c　PET/CT水平断画像の遅延相

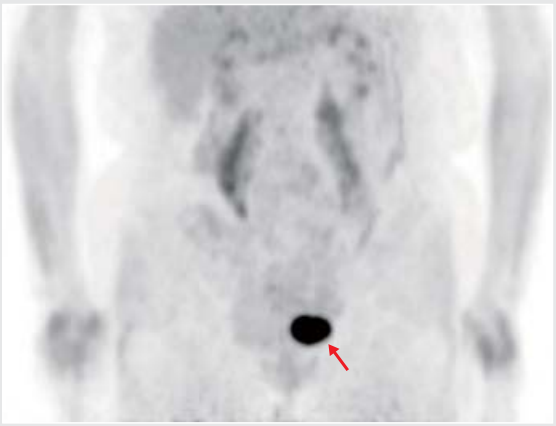


図3d　MIP正面画像

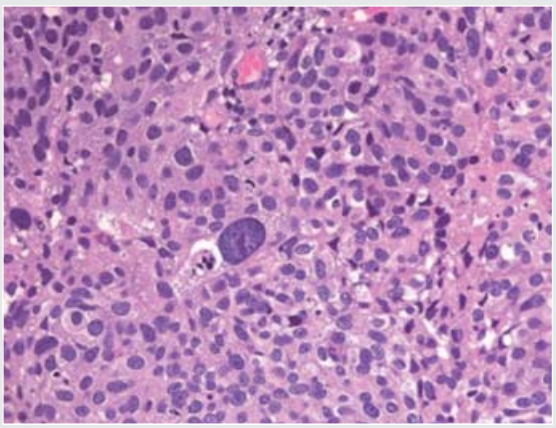


図3e　病理組織像（HE染色）

④膀胱炎

70歳代中半、男性。

主訴：頻尿。

経過：主訴にて医療施設を受診し、外来観察中に右尿管癌と膀胱癌の重複が発見された。経尿道的膀胱切除術にて尿路上皮癌Grade3、pT1と診断されたため、右腎尿管全摘・膀胱右側部分切除が施行された後、再発や転移の検索目的でPET/CTが施行された。

画像：単純CT水平断画像（**図4a**）にて膀胱壁全体が肥厚している。PET/CT水平断画像（**図4b**）では膀胱右側に一致して強い異常集積が限局性に認められる（赤矢印）。

膀胱鏡：**図4c**では集積に一致する部位に腫瘍は存在せず、膀胱粘膜に発赤が認められるだけであり、エピルビシンの膀胱内注入療法による炎症と思われる所見であった。

最終診断：膀胱炎。

考察：利尿剤投与および経口水負荷による遅延相撮影は有用ではあるが、膀胱への限局性集積は腫瘍とは限らず、炎症のこともある。特に膀胱内注入療法が検査前（1か月以内）になされていると、偽陽性を生じうることがあり注意を要する。しかし、膀胱内注入療法後にどの程度の期間を空ければ偽陽性を生じなくなるのか、他にどのような場合で偽陽性が生じるのかはまだ不明であり、今後の解析が待たれる。

図4a　単純CT水平断画像

図4b　PET/CT水平断画像

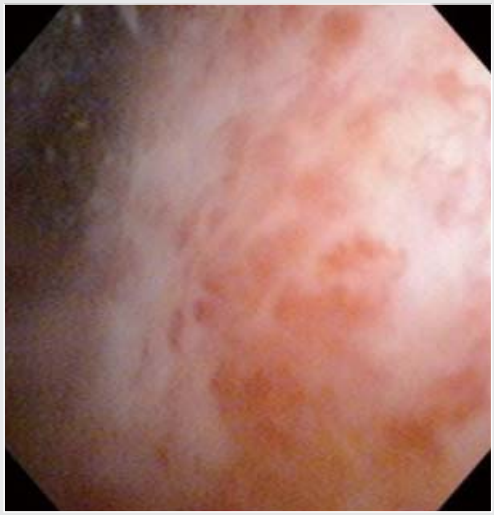


図4c　膀胱鏡写真

Ⅱ. 前立腺癌

1. 原発巣へのFDG集積

未治療前立腺癌原発巣の感度は64%との報告がある[1]。原発巣の感度は52%、特異度76%程度だが、中間リスク以上で、辺縁末梢領域の癌の検出には有用な可能性がある[2]。

2. 転移・再発巣へのFDG集積

PETにおける転移の感度は57～98%、特異度は97～100%とされている[3]。また、PSA再発では局所再発ないし遠隔転移が31%の割合で発見される[4]。限局性前立腺癌にてPSA再発を認めた患者の骨盤リンパ節郭清にて、感度75%、特異度100%の報告がある[5]。造骨性骨転移の多い前立腺癌では、^{99m}Tc-MDPの骨転移検出感度はPETより高い。従来の骨シンチグラフィで検出されている骨転移のうち、18%程度しか集積は陽性となっていない[6]。進行期前立腺癌における検出感度は^{99m}Tc-MDP（94%）＞PET（77%）との報告がある[7]。しかし、この報告では^{99m}Tc-MDPだけが描出した骨転移巣はPSA値が上昇した後6週間変化しなかったが、PETが描出した骨転移巣はすべて増大しており、PET陽性の前立腺癌の骨転移は増殖の活動性が高いとされている。

3. PET診断の精度と注意点

正常前立腺のSUVmaxは1.6±0.4とされるが[8]、経験上はもう少し高い印象をもつ。原発巣に関する精度72%という報告もあり[9]、あまり高いとはいえない。FDGは他のトレーサーより劣るものの、悪性度の高い癌の場合に役立つことがあり、FDGの強い取り込みは、アンドロゲン非依存性の可能性の指標かもしれない[10]。前立腺内への強い取り込みが偶発的に検出された場合、前立腺特異抗原（PSA）と経直腸超音波ガイド下生検で評価する必要がある。しかし、前立腺炎や良性肥大による偽陽性例もあるので、注意が必要である。PET/MRIが普及すれば、原発巣の診断精度はより向上するかもしれない。

4. PET検査の位置づけ

全ての前立腺癌の診断とステージングに対してはまだ有用性が高いとはいえない。しかし、進行の速い癌や悪性度の高い癌と思われるようなPSA上昇が急激な患者を対象にする場合には有用と思われる[11]。また、PSA再発しか確認されていない患者の一部においては局所再発または転移の検出に対して有効性を発揮することがある。なお、内分泌療法の効果を反映する可能性も示唆されており[12]、治療前に集積陽性となる患者の治療効果判定に有用性が期待される。

参考文献

1) Oyama N, et al. The increased accumulation of [^{18}F] fluorodeoxyglucose in untreated prostate cancer. Jpn J Clin Oncol 1999 Dec; 29(12): 623-629.
2) Minamimoto R, et al. The potential of FDG-PET/CT for detecting prostate cancer in patients with an elevated serum PSA level. Ann Nucl Med 2011; 25(1): 21-27.
3) Shreve PD, et al. Metastatic prostate cancer: initial findings of PET with 2-deoxy-2-[F-18] fluoro-D-glucose. Radiology 1996; 199: 751-756.
4) Schöder H, et al. 2-[^{18}F] fluoro-2-deoxyglucose positron emission tomography for the detection of disease in patients with prostate-specific antigen relapse after radical prostatectomy. Clin Cancer Res 2005; 11(13): 4761-4769.
5) Chang CH, et al. Detecting metastatic pelvic lymph nodes by 18F-2-deoxyglucose positron emission tomography in patients with prostate-specific antigen relapse after treatment for localized prostate cancer. Urol Int 2003; 70(4): 311-315.
6) Yeh SD, et al. Detection of bony metastases of androgen-independent prostate cancer by PET-FDG. Nucl Med Biol 1996; 23(6): 693-697.
7) Morris MJ, et al. Fluorinated deoxyglucose positron emission tomography imaging in progressive metastatic prostate cancer. Urology 2002; 59: 913-918.
8) Jadvar H. FDG PET in prostate cancer. PET Clin 2009; 4(2): 155-161.
9) Salminen E, et al. Investigations with FDG-PET scanning in prostate cancer show limited value for clinical practice. Acta Oncol 2002; 41(5): 425-429.
10) Jana S, et al. Nuclear medicine studies of the prostate, testes, and bladder. Semin Nucl Med 2006; 36: 51-72.
11) Shvarts O, et al. Positron emission tomography in urologic oncology. Cancer Control 2002; 9: 335-342.
12) Oyama N, et al. FDG PET for evaluating the change of glucose metabolism in prostate cancer after androgen ablation. Nucl Med Commun 2001; 22: 963-969.

症例提示

⑤前立腺癌とリンパ節転移

80歳代前半、男性。

主訴：夜間頻尿。

経過：主訴にて医療施設を受診し、血清PSA9.5ng/mLを指摘され、針生検にて前立腺癌と診断され、根治的前立腺全摘・リンパ節郭清が施行された。

画像：MIP正面画像**(図5a)**、PET/CT水平断画像**(図5b, c)**で、前立腺右葉にSUVmax=16の強い異常集積（赤矢印）を呈する領域が認められ、右傍腸骨動脈の腫大リンパ節に一致した異常集積も認められる（黒三角）。

切除標本：**図5d**では、前立腺右葉に腫瘍性病変を認める。

病理（HE染色）：**図5e**では、核異型高度な細胞の充実性増殖を認め、低分化癌Gleason score 4+5（9）の所見である。

最終診断：前立腺癌と右傍腸骨動脈リンパ節転移。

考察：悪性度が高いために集積が強いと思われる。

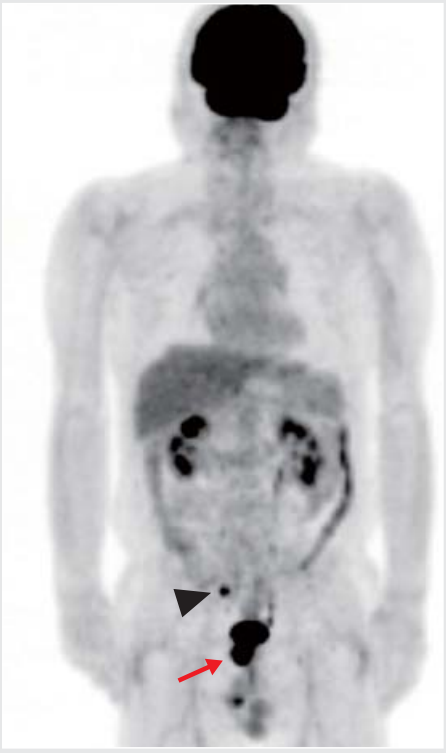


図5a　MIP正面画像

図5b　PET/CT水平断画像

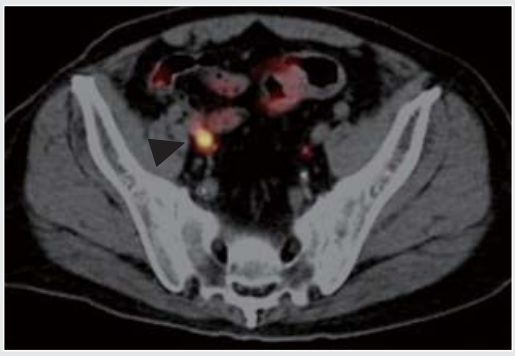


図5c　PET/CT水平断画像

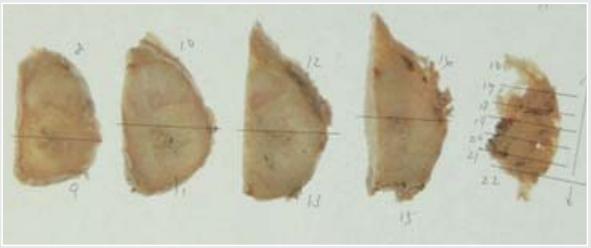


図5d　切除標本

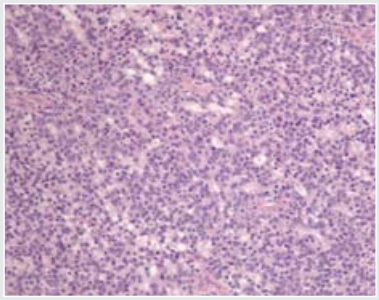


図5e　病理組織像（HE染色）

⑥前立腺癌とリンパ節転移・骨転移

70歳代中半、男性。

主訴：無症状・血清PSA高値。

経過：近医にて6年ほど前立腺肥大でフォローされていたが、血清PSA高値にて当医療施設を紹介された。受診時に血清PSA11.55ng/mLであったが、1月後に24.85ng/mL、さらにその1月後に33.23ng/mLと急速な上昇傾向を認めた。前立腺生検にてGleason score 4+5(9)の癌と診断された。その後、腫大リンパ節も病理学的に前立腺癌の転移であることが証明された。

画像：MIP正面画像**(図6a)**で左鎖骨窩や腹部傍大動脈領域の腫大リンパ節や脊椎、肋骨、骨盤骨に分布する多数の異常集積(赤矢印)が認められる。PET/CT水平断画像**(図6b)**で右恥骨転移(赤矢印)、前立腺右葉にSUVmax=5.3の異常集積(黒三角)を呈する領域が認められる。PET/CT冠状断画像**(図6c)**で腹部傍大動脈領域腫大リンパ節への異常集積(黄三角)、両側坐骨転移への異常集積(赤矢印)が認められる。PET/CT矢状断画像**(図6d)**で、脊椎転移に一致した異常集積も認められる(赤矢印)。

最終診断：前立腺癌と多発リンパ節転移および多発骨転移。

考察：進行が速く、悪性度が高いために集積が強いと思われる。

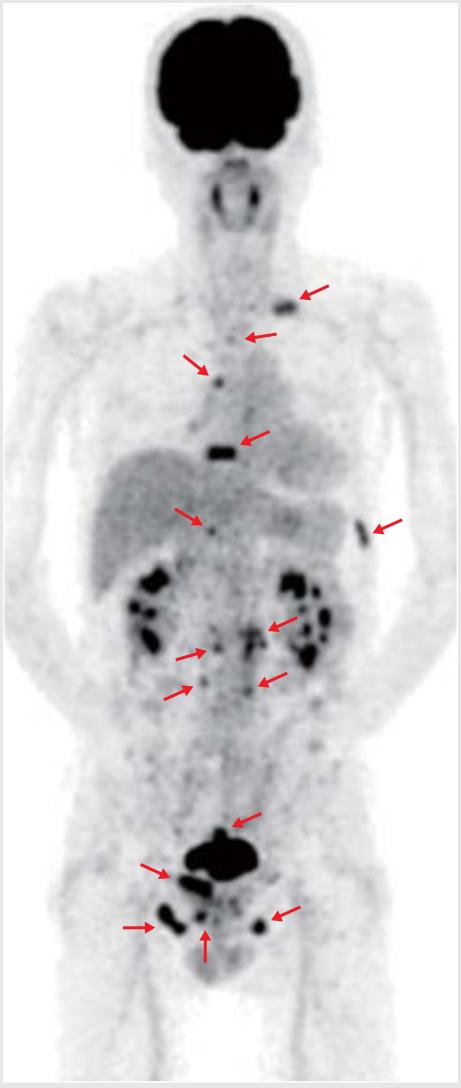


図6a　MIP正面画像

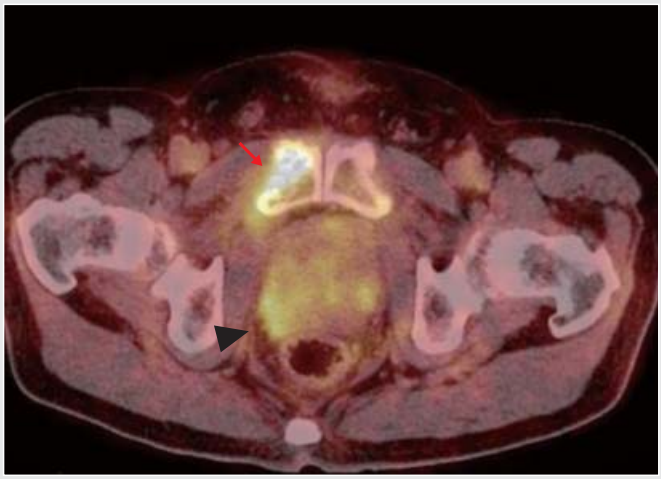


図6b　PET/CT水平断画像

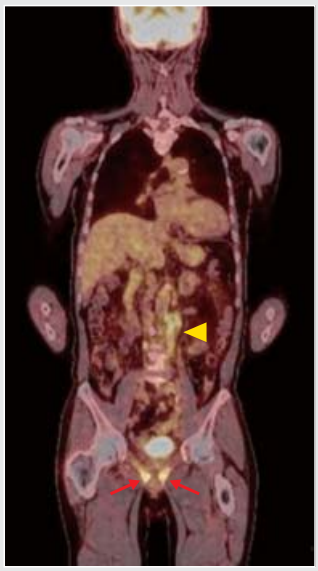


図6c　PET/CT冠状断画像

図6d　PET/CT矢状断画像

⑦前立腺肉芽腫性炎症

70歳代中半、男性。

主訴：無症状。

経過：4年ほど前に肉眼的血尿で当医療施設を受診し、左腎尿路上皮癌の診断で左腎尿管切除術をうけた。その1年後に膀胱癌を発症し、経尿道的膀胱腫瘍切除が施行され、その後膀胱内へのBCG注入治療が定期的に施行されていた。患者の希望でPET/CTが施行されたが、その際に前立腺右葉外腺後方に強い異常集積を指摘された。血清PSA7.08 ng/mLであったが、前立腺の生検では、右葉は限局性壊死を伴う肉芽腫性炎症と診断され、BCGの膀胱内注入治療の影響が疑われた。

画像：PET/CT水平断画像**（図7a）**で、前立腺右葉外腺後方にSUVmax=8の強い異常集積（赤矢印）を呈する領域が認められる。

病理（HE染色）：**図7b**では、壊死巣があり、その周囲に肉芽腫を認める。

最終診断：前立腺肉芽腫性炎症。

考察：比較的限局性の炎症が存在したため、偽陽性的に集積したと思われるが、集積のみでは癌と区別することは困難である。膀胱内注入療法などの既往歴の確認を含めた注意が必要である。

図7a　PET/CT水平断画像

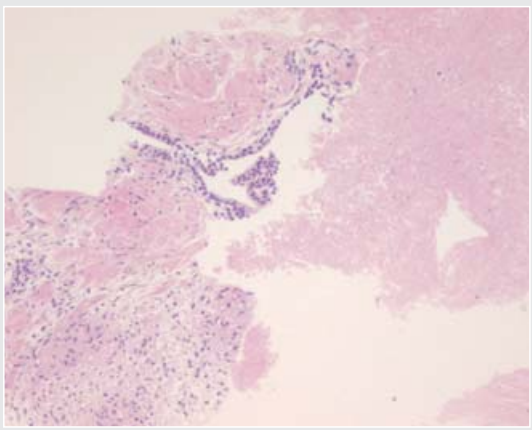


図7b　病理組織像（HE染色）

PETによる心サルコイドーシスの診断

愛媛大学医学部附属病院 放射線科　宮川 正男

1. 心サルコイドーシスにPETが必要とされる臨床的背景

サルコイドーシスは、肺、リンパ節、皮膚、眼、心臓、筋肉など、全身諸臓器に非乾酪性肉芽腫を形成する原因不明の疾患である。一般的には自然寛解する予後良好な疾患だが、慢性化して死に至る症例も存在する。サルコイドーシスによる死因の3分の2以上は心病変によるとされる。剖検時の心病変の合併は、米国において21～27%、本邦では約68%と、日本人で高い[1),2),3)]。

1992年、平賀らによって、『心臓サルコイドーシス診断の手引き』が作成された[4)]。この手引きは英訳され、欧米でも高い評価を受け、ガイドラインとして診断に用いられている[5),6)]。組織診断群と臨床診断群に分けられるが、サルコイド肉芽腫は心筋内に不均一に分布するため、心筋生検によって診断が確定される症例はわずか19%に過ぎない[7)]。したがって、臨床診断が重要となるが、本症でみられる症状は、心筋の組織障害あるいは刺激伝導障害に由来するため、疾患特異性に乏しい。そのため、心電図、心エコー、心筋血流シンチ、心臓カテーテル検査などの方法では、確定診断は難しい。

心筋に活動性炎症病変が確認されれば、致死的不整脈等を予防するため、早期のステロイド治療が推奨されているが、その適切な導入時期および漸減時期の明確な指標は確立されていない。Ga-67シンチグラムは、サルコイド肉芽腫を含む活動性の炎症病巣に集積するため有用とされるが、その感度は18～50%と十分ではない[8)]。

一方、PETは、悪性腫瘍の診断のみならず、炎症性疾患の診断にも応用されつつある。活動性の炎症病変を描出するという点では、Ga-67シンチと同様の診断的意義がある。しかし、空間分解能やバックグラウンドとのコントラストについては、明らかにPETの方が優れており、診断精度は高い。これらの理由を踏まえ、2012年4月、心サルコイドーシスにおける炎症部位の診断が必要とされる患者に対して、PETの保険適用が認められた。

2. PET検査方法（図1）

前処置：生理的心筋FDG集積の抑制方法

心筋のエネルギー代謝はグルコース、脂肪酸、乳酸、ケトン体、アミノ酸などによりまかなわれているが、主にグルコースと脂肪酸による拮抗的な代謝調節が中心である。4～12時間の絶食後にFDGを注射する通常のPET検査では、過半数の症例において正常心筋に生理的集積を認めるため、心サルコイドーシスによる炎症病変部位の同定は困難である。このため、生理的心筋集積を最小限に抑制する目的で前処置が必要となり、以下の方法が試みられている。

①前日の夕食終了後、18時間以上の絶食[9)]
②5g以下の低炭水化物食
③FDG投与15分前に、未分画ヘパリンを50単位/kg静注[10)]
④高脂肪食

①、②により血中の糖やインスリンを低下させ、③、④により血中遊離脂肪酸を上昇させることにより、FDGの生理的心筋集積を抑制する。低炭水化物食の効果は、高脂肪食より優れるとする報告[11)]があり、現時点では、①、②、③の併用が最も効果が高いと考えられる[12)]。

FDGの投与量および撮像法

通常の3Dデータ収集では111～259MBq（2～5MBq/kg）、2Dデータ収集ではこれよりやや多めのFDGを静脈内に投与して、60分後に撮像を開始する。投与量は撮像機種、年齢、体重により適宜増減する。PET/CTの場合には、通常の全身撮影の前後に、1bedの心臓部撮影の追加（手を挙上して5～10分）が望ましい。この際、可能であれば、呼吸同期および心電図同期撮影を併用する。

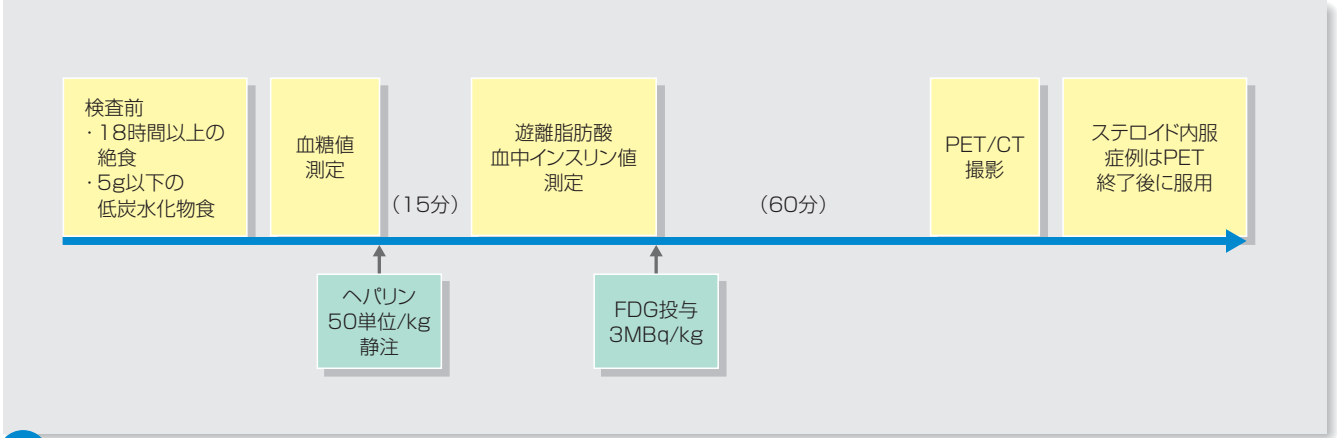


図1　長時間絶食＋ヘパリン負荷PET/CTプロトコール

3. 心サルコイドーシスの診断基準 —PET検査の位置づけ

1992年の旧『心サルコイドーシス診断の手引き』では、いずれかの臓器において病理組織学的にサルコイド肉芽腫が証明されることが必須項目であったため、臨床的に本症が強く疑われても確定診断に至らないケースがあった。そのため、2006年に日本サルコイドーシス／肉芽腫性疾患学会と日本心臓病学会との合同委員会により改訂が行われた**(表1)**[13),14)]。改訂のポイントは、臨床診断群において組織診断による証明が必須でなくなったこと、(a)高度房室ブロック・(b)心室中隔基部の菲薄化・(c)Gallium-67シンチグラムでの心臓への異常集積・(d)左室収縮不全の4つを主徴候として重要視したこと、ガドリニウム造影MRIにおける心筋の遅延造影所見を副徴候として取り上げたことである。

一方、PETに関して、心臓への異常集積は診断上有用な所見であるとして、「付記」として取り上げられたが、「主徴候」、「副徴候」のいずれにも採用されていない。最近のPET/CT装置の急速な普及を踏まえて、次期の「診断の手引き」においては、より重要視されてゆくべきと考える。

4. PET診断の精度と注意点

診断精度

過去の報告によると、PETによる心サルコイドーシス病変の検出感度は71～100%、特異度は38～100%で、報告症例総数でみると、感度89%、特異度78%である[6)]。前述のとおり、前処置の方法により特異度にばらつきがあり、方法を統一することで上昇の余地があるものと考えられる。

他の画像診断では、心筋血流シンチの感度24～67%、特異度93～100%、Ga-67シンチの感度18～50%、特異度100%、MRIの感度75～100%、特異度75～78%と報告されている[8),12)]。MRIでの遅延造影はステロイド治療により改善するとの報告もみられるが、**症例1**に示すごとく、多くの症例でペースメーカーやICDが使用されており、MRIは心サルコイドーシスの経過観察には限界があると考えられる。

1．サルコイドーシスの診断

サルコイドーシスの診断は、組織診断群と臨床診断群に分け下記の基準にしたがって診断する。

1)組織診断群

一臓器に組織学的に非乾酪性類上皮細胞肉芽腫を認め、かつ下記(1)～(3)のいずれかの所見がみられる場合を組織診断群とする。

(1)他の臓器に非乾酪性類上皮細胞肉芽腫を認める。
(2)他の臓器で「サルコイドーシス病変を強く示唆する臨床所見」がある。
(3)下記に示す検査所見6項目中2項目以上を認める。

全身反応を示す検査所見
①両側肺門リンパ節腫脹
②血清ACE活性高値
③ツベルクリン反応陰性
④Gallium-67 citrateシンチグラムにおける著明な集積所見
⑤気管支肺胞洗浄検査でリンパ球増加またはCD4/CD8比高値
⑥血清あるいは尿中カルシウム高値

2)臨床診断群

組織学的に非乾酪性類上皮細胞肉芽腫は証明されていないが、2つ以上の臓器において「サルコイドーシス病変を強く示唆する臨床所見」があり、かつ前記に示した全身反応を示す検査所見6項目中2項目以上を認める場合を臨床診断群とする。

2．心臓病変を強く示唆する臨床所見

主徴候と副徴候に分け、以下の1)、2)のいずれかを満たす場合。

1)主徴候4項目中2項目以上が陽性の場合
2)主徴候4項目中1項目が陽性で、副徴候5項目中2項目以上が陽性の場合

心臓所見

(1)主徴候

a)高度房室ブロック
b)心室中隔基部の菲薄化
c)Gallium-67 citrateシンチグラムでの心臓への異常集積
d)左室収縮不全(左室駆出率50%未満)

(2)副徴候

a)心電図異常：心室不整脈(心室頻拍、多源性あるいは頻発する心室期外収縮)、右脚ブロック、軸偏位、異常Q波のいずれかの所見
b)心エコー図：局所的な左室壁運動異常あるいは形態異常(心室瘤、心室壁肥厚)
c)核医学検査：心筋血流シンチグラム(thallium-201 chloride あるいはtechnetium-99m methoxy isobutyl-isonitrile、technetium-99m tetrofosmin)での灌流異常
d)Gadolinium造影MRIにおける心筋の遅延造影所見
e)心内膜心筋生検：中等度異常の心筋間質の線維化や単核細胞浸潤

付記：

1)虚血性心疾患と鑑別が必要な場合は、冠動脈造影を施行する。
2)心臓以外の臓器でサルコイドーシスと診断後、数年を経て心病変が明らかになる場合がある。そのため定期的に心電図、心エコー検査を行い経過を観察する必要がある。
3)Fluorine-18 fluorodeoxyglucose PETにおける心臓への異常集積は、診断上有用な所見である。
4)完全房室ブロックのみで副徴候が認められない症例が存在する。
5)心膜炎(心電図におけるST上昇や心嚢液貯留)で発生する症例が存在する。
6)乾酪壊死を伴わない類上皮細胞肉芽腫が、心筋生検で観察される症例は必ずしも多くない。

除外診断　巨細胞性心筋炎を除外する

表1　サルコイドーシスの診断基準と心病変の診断の手引き(2006年改訂版)

読影診断の注意点

評価法としては、心筋各セグメントに分割して視覚的に評価あるいはSUVを算出する方法、心筋全体のSUVmaxを算出する方法、心臓と血液プールのFDG集積の比を取る方法など定量的判定法も試みられているが定まったものはない。限局性に集積亢進を認めた場合には心サルコイドーシスの炎症部位と判定できるが、個々の生理的心筋集積程度が異なる。このため一般的には、左室壁にびまん性集積を認めた場合には陰性所見とし、びまん性集積の上に限局的な強い集積を認めた場合には陽性所見とされている。

参考文献

1) Iwai K, et al. Racial difference in cardiac sarcoidosis incidence observed at autopsy. Sarcoidosis 1994; 11: 26-31.
2) Silverman KJ, et al. Cardiac sarcoid: a clinicopathologic study of 84 unselected patients with systemic sarcoidosis. Circulation 1978; 58: 1204-1211.
3) Iwai K, et al. Pathological studies on sarcoidosis autopsy. I. Epidemiological features of 320 cases in Japan. Acta Pathol Jpn 1993; 43: 372-376.
4) 平賀 洋明, 他. 心臓サルコイドーシス診断の手引き-1992-作製の経過について. 厚生省特定疾患, びまん性肺疾患調査研究班, 平成4年度研究報告書1993; 23-24.
5) Patel MR, et al. Detection of myocardial damage in patients with sarcoidosis. Circulation 2009; 120: 1969-1977.
6) Youssef G, et al. The use of ^{18}F-FDG PET in the diagnosis of cardiac sarcoidosis: a systematic review and metaanalysis including the Ontario experience. J Nucl Med 2012; 53: 241-248.
7) Uemura A, et al. Histologic diagnostic rate of cardiac sarcoidosis: evaluation of endomyocardial biopsies. Am Heart J 1999; 138: 299-302.
8) Doughan AR, et al. Cardiac sarcoidosis. Heart 2006; 92: 282-288.
9) Langah R, et al. Effectiveness of prolonged fasting 18F-FDG PET-CT in the detection of cardiac sarcoidosis. J Nucl Cardiol 2009; 16: 801-810.
10) Ishimaru S, et al. Focal uptake on ^{18}F-fluoro-2-deoxyglucose positron emission tomography images indicates cardiac involvement of sarcoidosis. Eur Heart J 2005; 26: 1538-1543.
11) Cheng VY, et al. Impact of carbohydrate restriction with and without fatty acid loading on myocardial ^{18}F-FDG uptake during PET: a randomized controlled trial. J Nucl Cardiol 2010; 17: 286-291.
12) Ohira H, et al. ^{18}F-Fluoro-2-deoxyglucose positron emission tomography in cardiac sarcoidosis. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2011; 38: 1773-1783.
13) 津田 富康, 他. サルコイドーシスの診断基準と診断の手引き－2006. 日本サルコイドーシス／肉芽腫性疾患学会雑誌（日サ会誌）2007; 27: 89-102.
14) 加藤 靖周, 他. サルコイドーシス心病変の診断と治療. 日サ会誌 2008; 28: 15-24.

症例提示

症例1

1. 患者背景

60歳代、女性。10年以上前、眼肺サルコイドーシスと診断されたが無症状のため経過観察していた。1年前、意識消失発作が出現、完全房室ブロックを認めたため緊急入院し、ペースメーカー植込み術を施行。その後、労作時息切れが出現、徐々に増悪したため入院となった。

2. PET画像と診断所見

ヘパリン負荷PET/CTを行った。両側肺門部および大動脈壁弓部、腹部大動脈壁にもFDG集積亢進を認めた。心病変としては左室高位前壁～側壁にかけて有意な集積が認められた**（図2治療前）**。プレドニンを30mgより開始して、1か月後にはPETで集積亢進はほぼ消失した**（図2治療後30日）**。心筋のSUVmaxは、12.8から3.2に低下した。

3. 参考となる他の画像と診断所見

CTでは、心陰影拡大と肺門部リンパ節腫脹を認めたが肺野病変はなかった。心エコー図で、心室中隔基部菲薄化、バルサルバ洞動脈瘤と心室中隔ならび左室側壁の収縮能の低下がみられた。左室駆出率は、治療前の36%から50%まで改善した。

4. 最終診断と考察

活動性の心サルコイドーシス：ステロイド治療により軽快。心サルコイドーシスと大動脈炎の合併との報告もあり、可能性は否定できない。本症例では、数か月前に腫瘍PETが施行されていた**（図3左）**。左室心筋全体にびまん性の集積を認め、局所活動性評価は困難であった。ペースメーカー植込み後にヘパリン負荷と18時間以上の長時間絶食併用のPET**（図3右）**を行うことにより、活動性炎症と診断し、ステロイド治療を開始することができた。

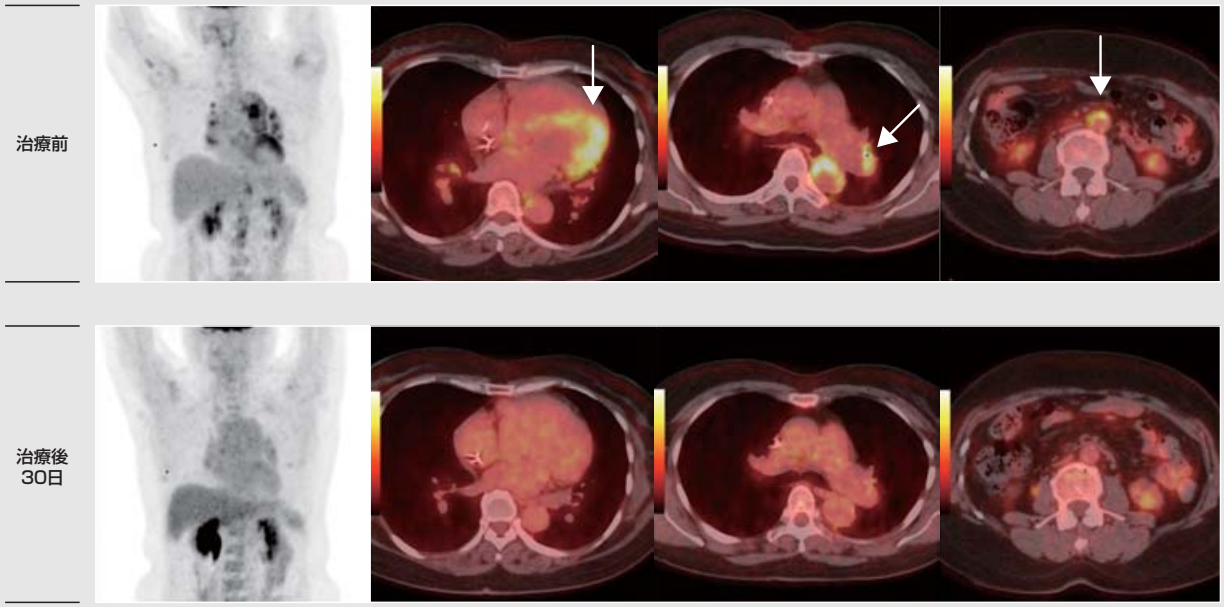


図2 ヘパリン負荷PET/CT（ステロイド治療前後の比較）

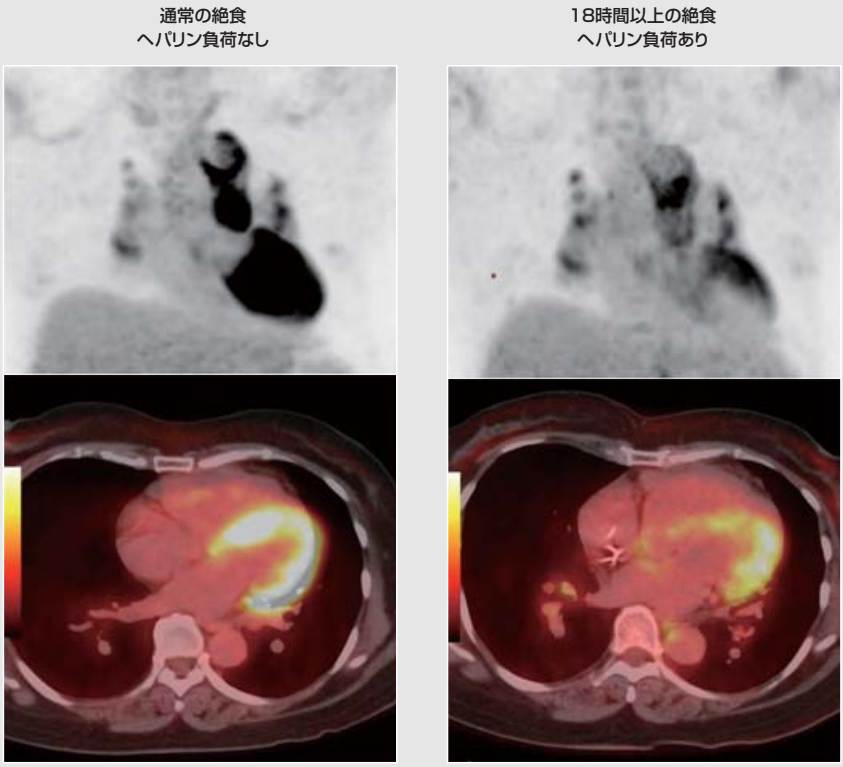


図3 PET検査方法（前処置の効果）

症例2

1. 患者背景

50歳代、女性。7年前に、皮膚結節が左上腕・右脛骨前面に出現し、皮膚生検にてサルコイドーシスと診断された。今回はめまいを自覚し受診、完全房室ブロックを認め入院。

2. PET画像と診断所見

ヘパリン負荷PET/CTでは、縦隔リンパ節へ集積を認め、また心病変としては、心室中隔基部と左室側壁に局所的に集積亢進がみられた**(図4治療前)**。プレドニン30mgより開始して、1か月後のPETでは、集積亢進はほぼ消失した**(図4治療後30日)**。心筋のSUVmaxは、12.4から4.5に低下した。

3. 参考となる他の画像と診断所見

CTで、両側肺門部リンパ節腫脹を認めた。心エコー図所見では心室中隔基部付近の菲薄化と瘤形成を認め、一部は奇異性収縮であった。

4. 最終診断

活動性の心サルコイドーシス：ステロイド治療により軽快。

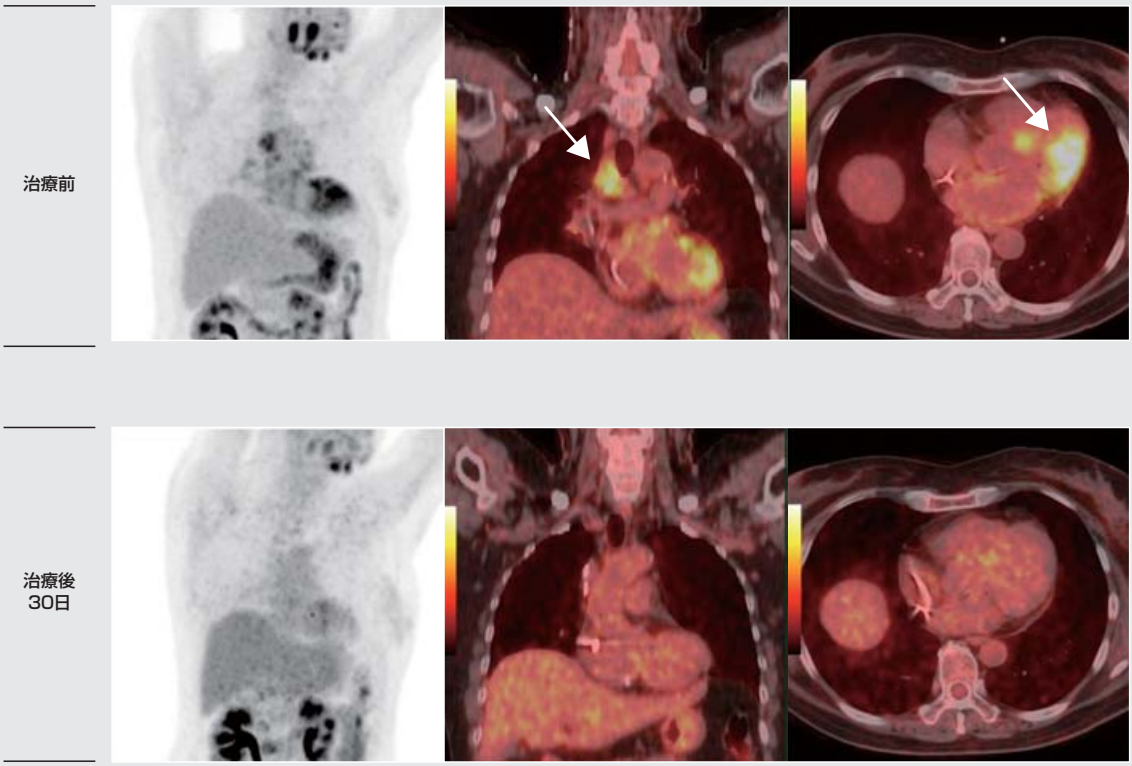


図4 ヘパリン負荷PET/CT(ステロイド治療前後の比較)

nihon medi+physics

日本メジフィジックス株式会社
〒136-0075 東京都江東区新砂3丁目4番10号
TEL.（03）5634-7006（代）
http://www.nmp.co.jp

2013.4作成
TA-1304-G02